



TUGAS AKHIR – TM 091585

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR *CURING* DAN *POST-CURING* TERHADAP
KARAKTERISTIK TARIK KOMPOSIT *EPOXY - HOLLOW
GLASS MICROSPHERES* IM30K**

**BUSTAN ZHAFRY HAZMI
NRP. 2108 100 024**

**DOSEN PEMBIMBING
Wahyu Wijanarko, ST., MSc.**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT – TM 091585

**EFFECT OF VOLUME FRACTION, CURING AND
POST-CURING TEMPERATURE ON TENSILE
PROPERTIES OF *EPOXY - HOLLOW GLASS
MICROSPHERES* IM30K COMPOSITES**

**BUSTAN ZHAFRY HAZMI
NRP. 2108 100 024**

**ADVISOR LECTURER
Wahyu Wijanarko, ST., MSc.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

**PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME,
TEMPERATUR CURING DAN POST-CURING
TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK KOMPOSIT
EPOXY-HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Metalurgi Program Studi S-1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BUSTAN ZHAFRY HAZMI

NRP. 2108 100 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Wahyu Wijanarko, ST., MSc. (Pembimbing)
NIP. 19820209 201212 1 001
2. Prof. Dr. Ir. Wajan berata, DEA (Penguji I)
NIP. 19501211 198502 1 001
3. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT (Penguji II)
NIP. 19740703 200003 1 001
4. Indra Sidharta, ST, MSc. (Penguji III)
NIP. 19800619 200604 1 004

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

PENGARUH VARIASI FRAKSI VOLUME, TEMPERATUR *CURING* DAN *POST-CURING* TERHADAP KARAKTERISTIK TARIK KOMPOSIT *EPOXY - HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K*

Nama Mahasiswa : Bustan Zhafry Hazmi
NRP : 2108100024
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Wahyu Wijanarko, ST., MSc.

ABSTRAK

Teknologi pembuatan komposit telah berkembang secara pesat dewasa ini. Salah satunya pengembangan material komposit dengan penguat pertikel, dengan Hollow Glass Microspheres (HGM). Hollow Glass Microspheres ini sering digunakan sebagai filler karena memiliki keunggulan tidak mengubah sifat dasar material penyusun komposit, meningkatkan tensile strength, compressive strength, dan bending. Sehingga dapat digunakan untuk aplikasi pada bodi kendaraan agar lebih ringan supaya berpengaruh pada efisiensi bahan bakar. Sifat mekanik komposit ini dapat dioptimalkan dengan curing pada temperatur 90°C selama 24 jam.

Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan resin jenis epoxy resin adhesive sebagai matrix dan HGM sebagai reinforcement. Volume fraksi Hollow Glass Microspheres yang divariasikan yaitu dengan penambahan tiap 1 % volume mulai dari 15% hingga 20% dari volume total. Kemudian di beri 3 perlakuan temperatur curing yang berbeda. Pertama spesimen di-curing pada temperatur 27°C, kemudian spesimen yang kedua di-curing pada temperatur 27°C selama 24 jam kemudian di post-curing selama 5 jam di temperatur 90°C. Kemudian yang ketiga spesimen di curing pada temperatur 90°C selama 24 jam. Kemudian material di uji tarik. Pengujian tarik yang dilakukan sesuai standard ASTM D3039.

Hasil yang didapat adalah terdapat perbedaan density dan kekuatan dari penambahan fraksi volume HGM secara teoritis dan secara eksperimen, kemudian pengaruh temperatur, dan waktu curing terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas dari komposit Epoxy-partikel Hollow Glass Microspheres. Dimana kekuatan tarik komposit terbesar pada penambahan fraksi volume hollow glass microspheres 16% dengan temperature curing 90°C yaitu sebesar 20,79 MPa.

Kata kunci: adhesive, curing, epoxy, hollow glass microspheres, komposit, post-curing, tarik.

EFFECT OF VOLUME FRACTION, CURING AND POST-CURING TEMPERATURE ON TENSILE PROPERTIES OF EPOXY - HOLLOW GLASS MICROSPHERES IM30K COMPOSITES

Name : Bustan Zhafry Hazmi
ID : 2108100024
Departmen : Mechanical Engineering
Advisor Lecturer : Wahyu Wijanarko, ST., MSc.

ABSTRACT

Composite manufacturing technology has been growing rapidly these days. One was the development of a composite material with reinforcing particles, with Hollow Glass microspheres (HGM). Hollow Glass microspheres is often used as a filler because it has the advantage of not changing the nature of the material making up the composite, increasing the tensile strength, compressive strength, and bending. So it can be used for applications in the vehicle body that is lighter that affect fuel efficiency. The mechanical properties of the composite can be optimized by curing procces at a temperature of 90 ° C for 24 hours.

This research was carried out by mixing the epoxy resin adhesive as a matrix and hollow glass microspheres as reinforcement. Volume fraction of Hollow Glass microspheres varied every 1% volume. Procentage of hollow glass microspheres increase ranging from 15% to 20% of the total volume. Then given three different treatments curing temperatures. The first specimens cured at 27 ° C, then the second specimens cured at 27 ° C for 24 hours and then post-cured for 5 hours at a temperature of 90 ° C. Then the third specimen cured at a temperature of 90 ° C for 24 hours. Then the material in a tensile test. Tensile test conducted according to ASTM standard D3039.

The result is that there are differences in the density and strength of the addition of the volume fraction of HGM

theoretically and experimentally, then the effect of temperature, and the curing time of the tensile strength and modulus of elasticity of composite particles Epoxy-Hollow Glass microspheres. Where the greatest tensile strength composite addition of hollow glass microspheres volume fraction of 16% with a curing temperature of 90 ° C in the amount of 20.79 MPa.

Keywords : adhesive, curing, epoxy, hollow glass microspheres, komposit, post-curing, Tarik.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah-Nya hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul : **Pengaruh Variasi Fraksi Volum, Temperatur Curing dan Post-Curing Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Epoxy-Hollow Glass Microspheres IM30K.**

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada kesempatan ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak **Onny Sophjan Tjahjono** dan Ibu **Iit Roefaidah** untuk segala pengorbanan sehingga dapat menyekolahkan penulis hingga tahap sarjana. Doa dan kasih sayang serta motivasi yang diberikan tidak henti hingga penulis dapat menyelesaikan studi nya di Jurusan Teknik Mesin ITS.
2. Kakak saya **Alifia Inzana Ramadhan** dan Suaminya yang juga alumni Teknik Mesin ITS yaitu **Rahmad Ramadhan**, terima kasih atas doa dan motivasinya untuk penulis.
3. **Wahyu Wijanarko, ST., MSc.**, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kritik dan saran, ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
4. **Prof. Dr. Wajan Berata, DEA, Dr. Eng, Sutikno, ST. MT., Indra Sidharta ST. MSc.** selaku dosen penguji dan pembahas tugas akhir. Terima kasih atas nasehat, ilmu, kritik dan saran yang telah diberikan.
5. Hayuniar Isneini Nur Midina
6. Teman-teman Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS (Chandra, Refki, Sabil, Galang, Tyo, Dewor, Iqo, Ovi, Botik, Esya, Yordi) terimakasih atas bantuan, dukungan, dan saran-saran yang telah diberikan.

7. Teman-teman M51 yang masih tersisa di kampus (Bimo, Beconk, Amirul, Tyo, Bahadur, Getuk, Ari, Esya) terima kasih sudah menemani di sisa waktu kuliah penulis.
8. Seluruh teman-teman Angkatan 2008 Teknik Mesin ITS (M51) terima kasih atas bantuan, doa, dan kebersamaannya selama kuliah di kampus Teknik Mesin tercinta.
9. Rekan-rekan Club Mesin ITS Autosport
10. Bapak-bapak karyawan lab Metallurgy Mesin ITS, Bapak Bambang Sumantri, Bapak Gatot, Mas Agus, Bapak Endang, dan Bapak Budi terima kasih atas waktu dan tenaga yang dicurahkan demi kelancaran pengerjaan Tugas Akhir penulis.
11. Semua karyawan dan Bapak Ibu Dosen di jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bantuan dan ilmunya kepada penulis.
12. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu di halaman ini.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar Pengesahan	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel	xxi

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan Penelitian	3

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Komposit	8
2.2.1 <i>Matrix</i>	11
2.2.2 Penguat	12
2.3 Komposit Partikel (<i>Particulate Composites</i>)	14
2.4 <i>Polymer Matrix Composite</i> (PMC)	15
2.5 Resin <i>Epoxy</i>	16
2.6 <i>Hollow Glass Microsphere</i> (HGM)	20
2.7 <i>Interface Epoxy - Hollow Glass Microspheres</i>	24
2.8 Metode Manufaktur Hand Lay Up	25
2.9 Perhitungan Komposit	26
2.9.1 Karakteristik Umum	26
2.9.2 Karakteristik Campuran	27
2.10 Proses <i>Curing</i>	27
2.11 <i>Post-Curing</i>	29

2.12 <i>Rules of mixture</i>	30
2.13 Pengujian Tarik.....	31

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Persiapan Spesimen	36
3.2.1 Flowchart Perhitungan	36
3.2.2 Contoh Perhitungan	37
3.2.3 Variabel Penelitian	38
3.3 Material	40
3.4 Peralatan yang digunakan.....	42
3.5 Langkah-Langkah Percobaan	49
3.5.1 Pembuatan spesimen.....	49
3.5.2 Pengamatan bentuk fisik komposit	50
3.6 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit.....	50
3.7 Pelaksanaan Uji Tarik	51
3.7.1 Spesimen Uji Tarik	51
3.7.2 Prosedur Uji Tarik	51

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Uji.....	53
4.1.1 Perhitungan <i>Rule Of Mixture</i>	55
4.1.2 Perhitungan Density	57
4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit	59
4.1.1 Pengaruh Penambahan Prosentase Volum Hollow Glass Microspheres Terhadap Tegangan Tarik Komposit	64
4.1.2 Perbandingan Density Komposit Secara Teori dan Secara Eksperimen	66
4.1.3 Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit Secara Teori Rules Of Mixtures dan Secara Eksperimen	68
4.3 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Micropsheres</i>	71
4.4 Pengamatan Hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) Pada Patahan Komposit	76

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	83

DAFTAR PUSTAKA	85
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	87
-----------------------	-----------



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Tegangan Tarik	5
Gambar 2.2	Grafik Hasil Uji Tarik UTS (MPa) vs Fraksi Volume	6
Gambar 2.3	Grafik Hasil Uji Tarik UTS (MPa) vs Temperature-waktu	7
Gambar 2.4	Grafik Temperatur <i>curing</i> 27°C selama 24 jam - <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam.....	8
Gambar 2.5	Diagram Komposit.....	9
Gambar 2.6	Klasifikasi Komposit	10
Gambar 2.7	Fase-Fase Dalam Komposit.....	11
Gambar 2.8	Komposit Berpenguat Serat.....	12
Gambar 2.9	Komposit Berpenguat Lamina	13
Gambar 2.10	Komposit Berpenguat Partikel	13
Gambar 2.11	Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya: (a) <i>Sandwich</i> , (b) <i>Interply</i> , (c) <i>Intraply</i> , dan (d) <i>Intimately Mixed</i>	14
Gambar 2.12	Komposit butir (<i>particulate composite</i>)	15
Gambar 2.13	Ikatan atom pada polimer	16
Gambar 2.14	Resin Epoxy	20
Gambar 2.15	<i>Hollow Glass Microsphere</i>	21
Gambar 2.16	<i>Interface Epoxy-HGM</i>	24
Gambar 2.17	Proses <i>Hand Lay Up</i>	25
Gambar 2.18	Tipe Rantai Polimer (a) <i>Linear</i> , (b) <i>Branched</i> , (c) <i>Cross-linked</i> , (d) <i>network</i>	28
Gambar 2.19	Tg <i>epoxy</i> resin menurut jurnal “ <i>Characterization and Failure Analysis of Plastics</i> ” oleh ASM International diterbitkan pada Desember (2003)	29
Gambar 2.20	Grafik hasil uji tarik dan modulus tensile antar resin polyester, vinylester, dan epoxy yang di- <i>curing</i> dan <i>post-curing</i>	30
Gambar 2.21	Molekul penyusun komposit	31

Gambar 2.22 Skema Uji Tarik.....	32
Gambar 3.1 Skema Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3.2 Skema Diagram Alir Perhitungan.....	36
Gambar 3.3 Resin.....	41
Gambar 3.4 HGM jenis IM30K	41
Gambar 3.5 Wax	42
Gambar 3.6 Timbangan Digital.....	42
Gambar 3.7 Cetakan Kaca.....	43
Gambar 3.8 Plat Baja.....	43
Gambar 3.9 Lilin Malam	44
Gambar 3.10 Sendok Pengaduk	44
Gambar 3.11 Kapi	45
Gambar 3.12 Alat Pemotong.....	45
Gambar 3.13 Lem Epoxy	46
Gambar 3.14 Furnace	47
Gambar 3.15 Mesin Uji Tarik	47
Gambar 3.16 Mikroskop Stereo Zeiss STEMI DV4	48
Gambar 3.17 Scanning Electron Microscope Zeiss EVO MA 10.....	48
Gambar 3.18 Spesimen Uji Tarik (Dimensi Dalam mm).....	51
Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur <i>Curing</i> 27°C (24 Jam)	60
Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur <i>Curing</i> 27°C (24 Jam) + <i>Post-Curing</i> 90°C (5 Jam)	62
Gambar 4.3 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur <i>Curing</i> 90°C (24 Jam)	63
Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur <i>Curing</i> 27°C	

Selama 24 jam, Temperatur <i>curing</i> 27°C Selama 24 jam+Post <i>curing</i> 90°C Selama 5 jam dan Temperatur <i>Curing</i> 90°C Selama 24 jam.....	64
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan <i>Density</i> Komposit Dengan Penambahan Prosentase <i>Hollow Glass Microspheres</i> Secara Teori dan Eksperimen.....	66
Gambar 4.6 (a) Foto Void Pada Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>Curing</i> 27°C Selama 24 jam. (b) Foto Makro Void Perbesaran 32x	67
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>Curing</i> 27°C (24 Jam) Secara Teori <i>Rules Of Mixture</i> dan Eksperimen	68
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>Curing</i> 27°C (24 Jam) + <i>Post-Curing</i> Temperatur 90°C (5 Jam) Secara Teori <i>Rules Of Mixture</i> dan Eksperimen.....	69
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>Curing</i> 90°C (24 Jam) Secara Teori <i>Rules Of Mixture</i> dan Eksperimen.....	70
Gambar 4.10 Foto Patahan Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>curing</i> 27°C (24 Jam) Hasil Uji Tarik Dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro.....	71
Gambar 4.11 Foto Permukaan Patahan Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>Curing</i> 27°C (24 Jam).....	72
Gambar 4.12 Foto Patahan Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur <i>curing</i> 27°C (24 Jam) + <i>Post-Curing</i> 90°C (5 Jam) Hasil Uji Tarik Dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro.....	73

Gambar 4.13 Foto Permukaan Patahan Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur curing 27°C (24 Jam) + <i>Post-Curing</i> 90°C (5 Jam).....	73
Gambar 4.14 Foto Patahan Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur Curing 90°C (24 Jam) Hasil Uji Tarik. Dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro.....	74
Gambar 4.15 Foto Permukaan Patahan Komposit <i>Epoxy-Hollow Glass Microspheres</i> Temperatur Curing 90°C (5 Jam).....	75
Gambar 4.16 <i>Interface Epoxy-HGM</i>	76
Gambar 4.17 Mekanisme <i>Hollow Glass Microsphere</i> Pada Komposit Menahan Retakan.....	77
Gambar 4.18 Foto SEM Komposit <i>Epoxy</i> dengan penambahan fraksi volume <i>Hollow Glass Microspheres</i> 15% Temperatur Curing 27°C (24 Jam) (Perbesaran 300x).....	78
Gambar 4.19 Foto SEM Komposit <i>Epoxy</i> Dengan Penambahan Fraksi Volume <i>Hollow Glass Microspheres</i> 15% Temperatur Curing 27°C (24 Jam) (Perbesaran 1000x).....	79
Gambar 4.20 Foto SEM Komposit <i>Epoxy</i> Dengan Penambahan Fraksi Volume <i>Hollow Glass Microspheres</i> 16% Temperatur Curing 27°C (24 Jam) + <i>Post-Curing</i> 90°C + (Perbesaran 300x).....	80
Gambar 4.21 Foto SEM Komposit <i>Epoxy</i> dengan penambahan fraksi volume <i>Hollow Glass Microspheres</i> 16% Temperatur Curing 27°C + <i>Post-Curing</i> 90°C (24 Jam) (Perbesaran 1500x).....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan <i>Epoxy Resin</i> Dan Polimer Lain....	19
Tabel 2.2	Data spesifikasi teknis <i>Hollow Glass Microspheres</i> jenis IM30K.....	23
Tabel 3.1	Variasi fraksi volume <i>hollow glass microspheres</i> dan <i>epoxy resin</i> untuk <i>curing temperature</i> 27°C selama 24 jam	38
Tabel 3.2	Variasi fraksi volume <i>hollow glass microspheres</i> dan <i>epoxy resin</i> untuk <i>curing temperature</i> 27°C selama 24 jam lalu <i>post-curing</i> 90°C selama 5 jam.....	38
Tabel 3.3	Tabel 3.3 Variasi fraksi volume <i>hollow glass microspheres</i> dan <i>epoxy resin</i> untuk <i>curing temperature</i> 90°C selama 24 jam.....	39
Tabel 3.4	density teori komposit <i>epoxy-hollow glass</i>	40
Tabel 3.5	Hasil Eksperimen	49
Tabel 4.1	Dimensi Spesimen Uji Komposit <i>Epoxy-HGM</i>	53
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan <i>Rule Of Mixture</i> Kekuatan Tarik Komposit <i>Epoxy-HGM Curing</i> Temperatur 27°C Selama 24 Jam.....	56
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan <i>Rule Of Mixture</i> Kekuatan Tarik Komposit <i>Epoxy-HGM Curing</i> Temperatur 27°C Selama 24 Jam dan <i>Post Curing</i> Temperatur 90°C Selama 5 Jam	56
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan <i>Rule Of Mixture</i> Kekuatan Tarik Komposit <i>Epoxy-HGM Curing</i> Temperatur 90°C Selama 24 Jam.....	57
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Density Spesimen Uji Komposit <i>Epoxy-HGM</i>	58
Tabel 4.6	Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-HGM Curing</i> Temperatur 27°C Selama 24 Jam.....	59

Tabel 4.7	Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-HGM Curing</i> Temperatur 27°C Selama 24 Jam dan <i>Post Curing</i> Temperatur 90°C Selama 5 Jam	61
Tabel 4.8	Hasil Uji Tarik Komposit <i>Epoxy-HGM Curing</i> Temperatur 90°C Selama 24 Jam	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 latar Belakang

Berkembangnya teknologi industri dibidang otomotif dan dirgantara disertai dengan keterbatasan bahan baku material logam yang terkandung di alam mendorong material komposit banyak digunakan dan diaplikasikan dalam produk. Hal ini dikarenakan material komposit memiliki keunggulan antara lain kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi dari material logam lainnya. Sehingga menuntut tersedianya material komposit dengan sifat yang diinginkan untuk menggantikan material logam yang banyak digunakan.

Sifat komposit diperoleh dari penggabungan matriks utama dengan *reinforcement* (penguat) melalui proses pembuatan yang bervariasi sehingga akan berpengaruh pada kelebihan dan kekurangan masing-masing material komposit tersebut. Kelebihan yang dapat diperoleh adalah peningkatan daya redam energi material, berat yang ringan, desain fleksibel, daya tahan terhadap korosi yang lebih baik, dan lainnya. Adapun kekurangan dari jenis material komposit adalah desain kompleks, biaya tinggi, karakteristik terhadap temperature dibandingkan dengan logam relatif kurang baik.

Salah satunya pengembangan polimer komposit dengan penambahan *Hollow Glass Microspheres* (HGM). Material komposit ini diproduksi dengan cara mencampur resin *epoxy* dengan HGM yang secara teoritis akan meningkatkan modulus elastisitas. Untuk meningkatkan kekuatan ikatan paduannya maka proses *curing* dilakukan dengan variasi temperatur dan waktu penahanan (*holding time*) tertentu. Tujuan dilakukannya *curing* dengan temperatur dan waktu tertentu adalah untuk memperbaiki sifat mekanik komposit material dan juga untuk menghilangkan

tegangan sisa pada komposit, sehingga diharapkan kekuatannya akan meningkat.

Hollow Glass Microspheres (HGM) adalah material kaca mikroskopis yang biasa diproduksi untuk bidang penelitian, bidang obat-obatan, dan bidang industry. Material ini berbentuk mikroskopis *spherical* yang berongga, memiliki konduktivitas termal yang rendah, ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi (3.000-30.000 psi), berat jenis yang rendah (0,3 – 0,6 g/cc), dan titik leleh yang tinggi (600°C).

Pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh dari variasi temperature *curing* pada suhu kamar, *curing* pada suhu kamar lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam, dan *curing* 90°C, serta penambahan fraksi volume *hollow glass microsphere* 15% hingga 20% terhadap karakteristik tarik komposit dengan *matrix epoxy*. Sehingga nantinya penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan dalam bidang otomotif, bidang industri, bidang dirgantara dan sumbangan data bagi ilmu pengetahuan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan kekuatan komposit dengan penambahan prosentase fraksi volume *hollow glass microspheres* 15% sampai dengan 20% pada komposit secara perhitungan teoritis dan secara eksperimen terhadap karakteristik tarik komposit dengan *matrix epoxy*.
2. Bagaimana Pengaruh perbedaan temperatur *curing* dan waktu penahanan pada proses *post-curing* komposit terhadap karakteristik tarik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan kekuatan komposit dengan penambahan prosentase fraksi volume *hollow glass microspheres* 15% sampai dengan 20% pada komposit secara perhitungan

teoritis dan secara eksperimen terhadap karakteristik tarik komposit dengan *matrix epoxy*.

2. Menganalisa perbedaan kekuatan komposit dengan penambahan prosentase fraksi volume *hollow glass microspheres* 15% sampai dengan 20% pada komposit secara perhitungan teoritis dan secara eksperimen terhadap karakteristik tarik komposit dengan *matrix epoxy*.
3. Menganalisa pengaruh perbedaan temperatur *curing* dan waktu penahanan pada proses *post-curing* komposit terhadap karakteristik tarik.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Temperatur pada proses pembuatan dan pengujian dianggap konstan, yaitu 27°C.
2. Distribusi *hollow glass microspheres* (HGM) didalam *matrix* dianggap sama.
3. Spesimen yang dihasilkan dari proses pencetakan dianggap baik

1.5 Sistematika Penulisan Penelitian

Penulisan di susun dalam enam bab yaitu pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, data hasil penelitian, analisa data dan diskusi, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, pembatasan masalah serta tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori menjelaskan tentang teori-teori dasar mengenai komposit, karakteristik *epoxy* dan *Hollow Glass Microsphere* (HGM), konsep proses *curing* dan *post-curing* serta konsep pengujian tarik.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian dijelaskan tentang data spesimen yang digunakan, metode pengujian yang digunakan, diagram alir, metode pembuatan, metode pengumpulan data dan segala bentuk prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menampilkan pengolahan data dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Kemudian analisa data dan diskusi menampilkan pembahasan dari data yang didapatkan saat pengujian. Bentuk patahan dan analisa kegagalan akan diamati dengan menggunakan foto makro dan foto SEM.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab kesimpulan dan saran diberikan dengan menarik kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

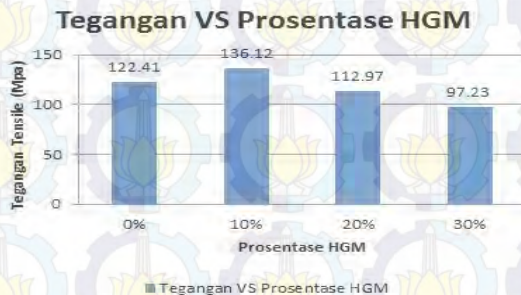
BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang pengaruh penambahan fraksi volume HGM pada komposit dan karakteristik tarik *Epoxy-Hollow glass microspheres* (HGM) masih belum banyak dilakukan. Beberapa variasi tentang waktu penahan *curing*, *temperature curing* dan *post-curing* juga masih belum banyak diteliti sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendukung data sebelumnya.

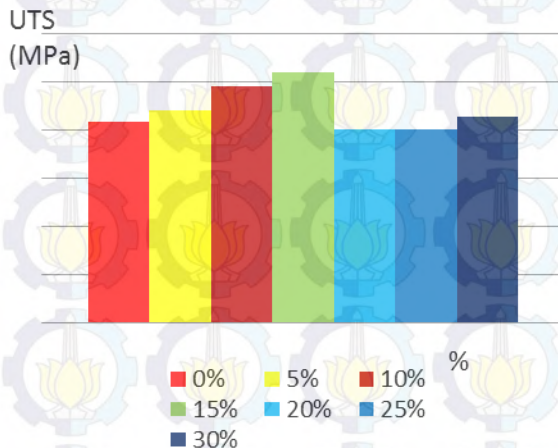
Pada Tahun 2012, ***Made Rasindradata*** dari Jurusan Teknik Mesin ITS [1] melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan prosentase *hollow glass microspheres* komposit hibrida lamina dengan penguat serat anyaman terhadap karakteristik tarik dan bending material polimer matriks komposit dengan menggunakan resin *polyester* sebagai matriks. Penelitian tersebut bertujuan untuk meningkatkan kekuatan *komposit* pada aplikasi struktural dan meminimalkan biaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh penambahan fraksi volume HGM terhadap kekuatan tarik. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 2.1 Grafik tegangan tarik[1].

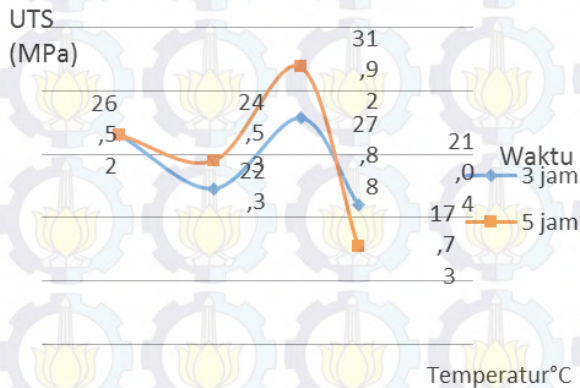
Fraksi volume HGM yang digunakan pada penelitian tersebut yaitu 0% - 30%. Dari gambar 2.1 dapat dilihat adanya pengaruh penambahan fraksi volum sebesar 10% berpengaruh pada tegangan tarik material tersebut. Material komposit dengan penambahan fraksi volume HGM sebesar 10% memiliki tegangan tarik yang paling besar.

Pada tahun 2013, **Irwan Nugraha Saputra** dari Teknik Mesin ITS[2] melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* dengan matriks resin *polyester* terhadap karakteristik tarik. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan resin *polyester* sebagai matriks. Pada penelitian ini dilakukan penambahan fraksi volume HGM sebanyak 5% mulai dari 0% sampai dengan 30%. temperatur *curing* pada suhu ruang dan temperature 60°C, 90°C dan 110°C masing – masing selama 3 dan 5 jam di dalam furnace.



Gambar 2.2 Grafik Hasil Uji Tarik UTS (MPa) vs Fraksi Volume[2]

Pada gambar 2.2 dapat dilihat hasil dari penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* dengan prosentase 15% memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi.

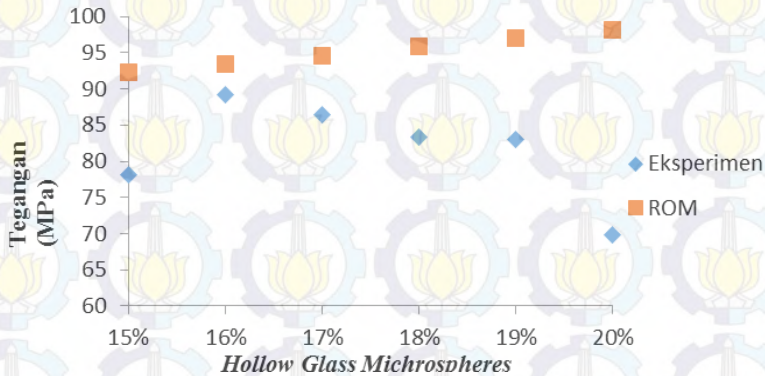


Gambar 2.3 Grafik Hasil Uji Tarik UTS (MPa) vs Temperature-waktu[2]

Dari hasil pengujian tarik gambar 2.3 didapatkan adanya penurunan kekuatan tarik komposit *polyester* - HGM yang diberi perlakuan *post-curing* pada temperatur 60°C dengan waktu penahanan 3 dan 5 jam. Namun komposit yang diberi perlakuan *post-curing* pada temperatur 90°C menunjukkan kenaikan kekuatan tarik yang paling tinggi.

Kemudian Penelitian mengenai manfaat penambahan *hollow glass microspheres* pada material komposit juga dilakukan oleh **Widiansyah Ritonga** dari Teknik Mesin ITS [3]. Penelitian yang dilakukan yaitu penambahan *hollow glass microspheres* sebagai penguat dan resin *epoxy* sebagai matrix. Pada penelitian ini digunakan jenis *epoxy resin adhesives* dengan perbandingan 1:3 dan menggunakan *hollow glass microsphere* jenis IM30K. Penelitian ini lebih menitik beratkan pada penambahan fraksi volume HGM sebanyak 1% mulai dari 15% sampai dengan 20%.

Serta temperatur *curing* pada suhu ruang selama 24 dan *post curing* dengan suhu 90 °C selama 5 jam.

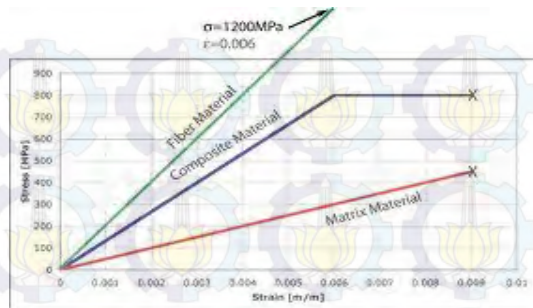


Gambar 2.4 Grafik Temperatur *curing* 27°C selama 24 jam - *post-curing* 90°C selama 5 jam[14]

Dari hasil pengujian tekan pada gambar 2.4 dapat dilihat adanya kekuatan tekan yang paling tinggi dengan penambahan fraksi volume HGM sebesar 16% dengan temperatur curing 27°C dan diberi perlakuan *post-curing* pada temperatur 90°C dengan waktu penahanan 5 jam.

2.2 Komposit

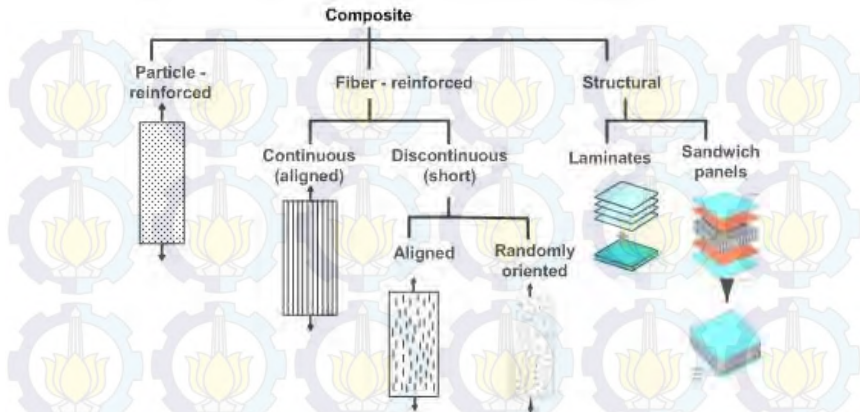
Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Komposit memiliki sifat-sifat kekuatan dan kekakuan tinggi, sangat ringan, ketahanan korosi oleh bahan kimia dan ketahanan korosi terhadap cuaca baik, mudah dibentuk. Dengan beberapa kelebihan tersebut, menyebabkan komposit banyak diaplikasikan dalam peralatan-peralatan berteknologi tinggi di bidang industri, transportasi, dan konstruksi bangunan.



Gambar 2.5 Diagram Komposit[3]

Komposit terdiri dari *matrix* dan *reinforcement* dimana *reinforce* biasanya memiliki nilai *stress* yang lebih tinggi dari material *matrix*. Seperti pada gambar 2.5 dapat dilihat material fiber sebagai *reinforcement* memiliki tegangan yang lebih tinggi dari *matrix*.

Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun yaitu *matrix* sebagai bahan utama yang berfungsi sebagai pengikat dan *reinforce* sebagai bahan pengisi (*filler*) yang berfungsi sebagai penguat. Bahan pengisi (*filler*) dapat berbentuk serat, partikel, serpihan atau juga dapat berbentuk yang lain seperti pada gambar 2.6. Antara *matrix* dan *reinforce* akan terbentuk lapisan yang disebut lapisan antarmuka (*interface*). Dengan penggabungan material tersebut, maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya,



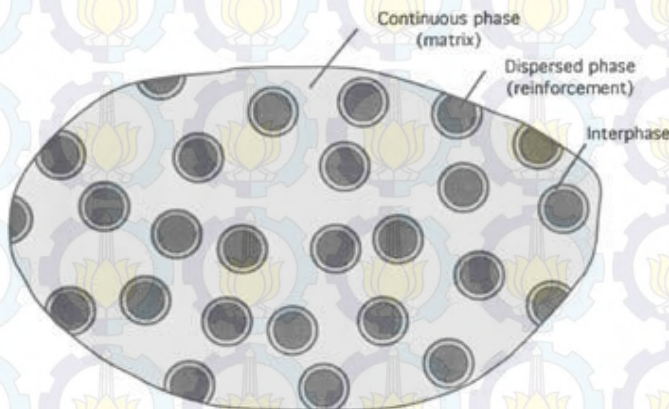
Gambar 2.6 Klasifikasi Komposit[4]

Kelebihan material komposit jika dibandingkan dengan logam adalah perbandingan kekuatan terhadap berat yang lebih baik serta sifat ketahanan korosinya. Sehingga banyak dikembangkan sebagai material alternatif pengganti logam dikarenakan keterbatasan jumlah yang ada di alam. Komposit yang paling banyak dikembangkan adalah jenis PMC (*Polymer Matrix Composites*). Komposit jenis ini terdiri dari material polimer sebagai *matrix* baik itu jenis *thermoplastic* maupun jenis *thermosetting*.

Material komposit dengan polimer sebagai *matrix* diisi dengan *filler* banyak dikembangkan karena aplikasinya yang luas dan harga yang relatif murah. Penggunaan *filler* merupakan metode yang cepat dan murah untuk memodifikasi sifat mekaniknya. Secara umum, *filler* digunakan untuk meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan modulus elastisitasnya, tetapi juga dapat dilakukan modifikasi untuk meningkatkan kekuatan (*strength*), ketangguhan (*toughness*).

2.2.1 Matriks

Dalam teknologi komposit, *matrix* dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai pengikat yang mendukung, melindungi, dan dapat mendistribusikan beban dengan baik ke material penguat (*reinforce*) komposit.



Gambar 2.7 Fase-fase dalam komposit[5]

Berdasarkan jenis matriksnya, maka komposit dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. PMC (*Polymer Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material polimer sebagai matriksnya. Contohnya adalah: GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

2. CMC (*Ceramic Matrix Composite*)

Adalah komposit yang menggunakan material keramik sebagai (matriks). Contohnya adalah: Boron reinforced SiC.

3. MMC (*Metal Matrix Composite*)

Merupakan komposit yang menggunakan material logam sebagai matriks. Contohnya adalah: carbon reinforced aluminium.

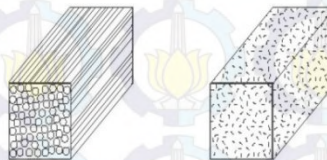
2.2.2 Penguat

Penguat (*reinforcement*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat lebih kuat dari fase material penyusunnya (*matrix*) dan merupakan suatu konstruksi atau rangka tempat melekatnya matriks. Beberapa bentuk penguat (*reinforcement*) dari material komposit adalah :

- Serat (fiber)
- Partikel
- Serpihan (flakes)
- Rambut (whiskers)

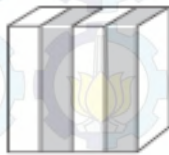
Berdasarkan jenis penguatnya komposit dibagi menjadi:

1. Komposit Serat (*fibricus composite*) yaitu komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi, misalnya serat + resin sebagai bahan perekat. Dapat dilihat pada gambar 2.3. Sebagai contoh adalah *Fiber Reinforce Plastic* (FRP) plastik diperkuat dengan serat dan banyak digunakan, yang sering disebut *fiber glass*.
- 2.



Gambar 2.8 Komposit Berpenguat Serat[6]

3. Komposit Lapis (*laminated composite*), yaitu komposit yang terdiri dari lapisan dan bahan penguat, contohnya *polywood*, *laminated glass* yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya. Ilustrasi komposit lapis ditunjukkan pada gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.9 Komposit Berpenguat Lamina[6]

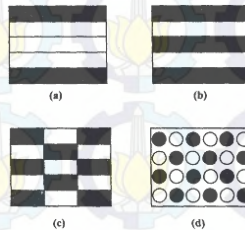
4. Komposit Partikel (*particulate composite*), yaitu komposit yang terdiri dari partikel dan bahan penguat seperti butiran (batu dan pasir) yang diperkuat dengan semen yang sering kita jumpai sebagai beton. Komposit partikel ditunjukkan pada gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2.10 Komposit Berpenguat Partikel[6]

5. Komposit Hibrida merupakan suatu jenis komposit yang penguatnya terdiri atas lebih dari satu jenis penguat ke dalam satu matriks. Tingkat pencampuran dapat dalam skala kecil (serat)

ataupun dalam skala besar (*layer*). Tujuan dari hibridisasi adalah untuk menyusun suatu material baru yang mengandung keunggulan dari penyusunnya. Gambar 2.6 merupakan bentuk-bentuk susunan komposit hibrida.

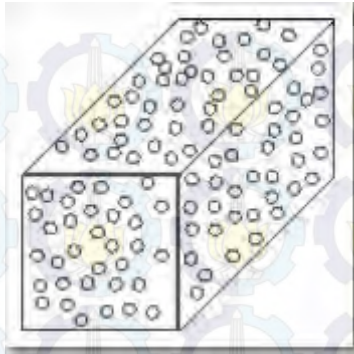


Gambar 2.11 Jenis komposit hibrida berdasarkan penyusunnya:

(a) *Sandwich*, (b) *Interply*, (c) *Intraply*, dan (d) *Intimately Mixed*[6]

2.3 Komposit Partikel (*particulate composite*)

Komposit partikel adalah salah satu jenis komposit di mana dalam matriks ditambahkan filler material lain sebagai *reinforce* berupa serbuk atau butir. Dalam *komposit* partikel, material penambah (*filler*) terdistribusi secara acak atau kurang terkontrol. Pengaruh partikel pada sifat mekanik komposit tergantung pada dimensi partikel tersebut. Partikel yang sangat kecil (kurang dari 0,25 mikron) dan halus terdistribusi secara acak di dalam *matrix*. Penambahan partikel sebagai penguat (*reinforce*) berfungsi untuk menghambat pergerakan dislokasi dan deformasi material.



Gambar 2.12 Komposit butir (*particulate composite*)[6]

Partikel besar yang terdispersi ini memiliki efek penguatan yang rendah tetapi mampu untuk membagi beban yang diterapkan pada komposit, mengakibatkan peningkatan kekakuan dan penurunan keuletan. Partikel keras yang tersebar dalam *matrix* meningkatkan ketahanan abrasi. Partikel lembut yang terdispersi dalam *matrix* yang keras dapat meningkatkan *machinability* dan mengurangi koefisien gesek.

2.4 *Polymer Matrix Composite (PMC)*

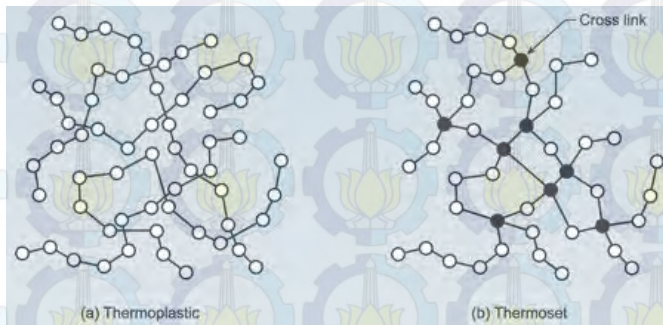
Polymer Matrix Composite merupakan salah satu jenis material *komposit* dimana material berbahan dasar polimer menjadi *matrix*-nya. *Polymer Matrix Composite* (PMC) menjadi salah satu material yang sangat diperhitungkan keberadaannya untuk dipergunakan dalam berbagai rekayasa yang berhubungan dengan aplikasi-aplikasi penting bagi manusia. Fungsi dari *matrix* polimer pada PMC adalah untuk meneruskan tegangan dari luar (*external stress*) kepada penguat *reinforce* dan juga berfungsi untuk menahan abrasi yang mungkin terjadi. Berdasarkan sifatnya, polimer dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. **Thermoplastik:**

Polimer yang dapat dibentuk kembali melalui proses pemanasan contoh: *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Polyethylene* (PE).

2. **Thermosetting:**

Polimer yang tidak dapat dibentuk lagi melalui proses pemanasan seperti thermoplastic, contoh: *Polyester*, *Phenolic* (PF).



Gambar 2.13 Ikatan atom pada polimer[7]

2.5 Resin Epoxy

Salah satu jenis *matrix* yang sering digunakan adalah *epoxy*. *Epoxy* merupakan campuran dari "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek pada kedua ujung dengan kelompok epoksida. *Epoxy* resin dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan. Pengeras (*hardener*) terdiri dari monomer *polyamine*, contohnya *Triethylenetetramine*(Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang. Menjadi kaku dan kuat. Proses polimerisasi disebut *curing* yang dapat dikontrol melalui suhu.

Epoxy memiliki sifat yang keras dan getas. Namun dalam penggunaannya, *epoxy* hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Baik dari sisi kekuatan, keuletan sesuai dengan penggunaannya. Seperti jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik yang baik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam / karbon lain.

Pengerasan yang terjadi pada bahan ini bertahap. Berbeda dengan bahan polyester yang mengeras dengan cepat ketika dicampur menggunakan katalis dalam jumlah yang banyak. Reaksi kimia yang terjadi antara *epoxy* dan pengeras (*hardener*) adalah reaksi eksotermik. Campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri yang dapat mempercepat reaksi.

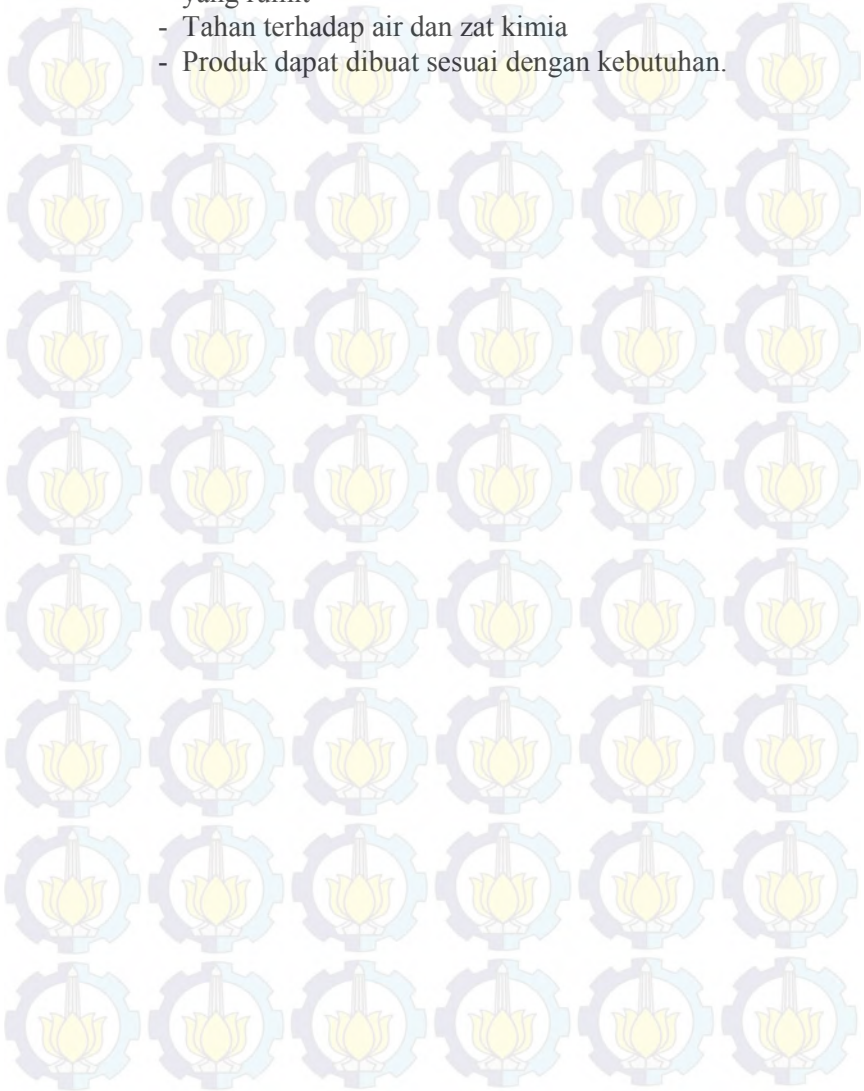
Resin *epoxy* ini memiliki keunggulan yaitu memiliki temperature transisi cukup bervariasi yaitu 50°C hingga 175°C[9] yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Beberapa keunggulan dan kekurangannya terlihat pada tabel 2.2.

Pada eksperimen ini digunakan *epoxy resin adhesive* atau biasa disebut lem *epoxy* seperti pada gambar 2.14. Penggunaan resin jenis ini dapat dilakukan dari mulai proses yang paling sederhana yaitu proses *hand lay-up* hingga menggunakan metode manufaktur yang kompleks. Resin jenis ini banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Beberapa keunggulan dan kekurangannya, yaitu :

- Harganya yang relatif murah
- Waktu *curing* yang cepat
- Kekuatan tekan 106 Mpa
- Tahan air tinggi
- Panjang waktu kerja yang tersedia
- Ketahanan Terhadap suhu mencapai 140C -220C kering
- Kestabilan dimensional
- Mudah untuk dibentuk dengan mudah kedalam bentuk

yang rumit

- Tahan terhadap air dan zat kimia
- Produk dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan.



Tabel 2.1 Perbandingan *epoxy* resin dan polimer lain[9].

Resin	Advantages	Disadvantages
Polyester	<ul style="list-style-type: none"> - Easy to use - Lowest cost of resins 	<ul style="list-style-type: none"> - Only moderate mechanical properties - High styrene emissions in open moulds - High shrinkage - Limited range of working time
Vinylesters	<ul style="list-style-type: none"> - Very high chemical resistance - Higher mechanical properties than polyesters 	<ul style="list-style-type: none"> - Postcure generally required for high properties - High styrene content - High cost than polyester - High cure shrinkage
Epoxies	<ul style="list-style-type: none"> - Tensile strength 85 Mpa - Compressive 106 Mpa - High water resistance - Long working time available - Temperature resistance can be up to 140°C -220°C dry - Low cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> - More expensive than vinylester - Critical mixing - Corrosive handling



Gambar 2.14 Resin Epoxy.

2.6 *Hollow Glass Microspheres (HGM)*

Hollow Glass Microspheres telah banyak digunakan sebagai pengisi yang memiliki densitas rendah untuk berbagai jenis senyawa polimer sejak pertengahan abad 1960-an. *Hollow Glass Microspheres* merupakan kaca ber dinding tipis yang berrongga dan terbuat dari kaca yang mengandung *sodium borosilicate*. Selama 20 tahun pertama setelah pengenalan mereka, HGM tidak cukup kuat untuk menahan gaya geser yang tinggi dan tekanan tinggi yang terlibat dalam pembuatan plastik dan *injection molding*.

Pada akhir 1980-an, 3M memperkenalkan microsphere kaca dengan kekuatan isostatic (penggunaan tekanan kekuatan proporsi yang sama dari segala arah) yang mencapai 10.000 psi, lebih dari dua kali kekuatan sebelumnya yang tersedia. Dengan ditemukannya jenis ini berarti bahwa *Hollow Glass Microsphere* dapat digunakan sebagai pengisi dalam proses-proses yang membutuhkan tegangan geser cukup tinggi. Pada jenis *Hollow Glass Microsphere* iM30K, memiliki kekuatan tekan (kompresi) tertinggi di dunia dan juga memiliki rasio *strength-to-density* tertinggi dari jenis jenis *Hollow Glass Microsphere* yang terdapat

di pasaran. *Hollow Glas Microspheres* terbuat dari bahan soda / kapur borosilikat (*soda/lime borosilicate*), dapat menahan tekanan *injection molding* hingga sekitar 30.000 psi. Memiliki ukuran 16 micron tiap butirnya , serta memiliki kekuatan isostatic mencapai 28.000 psi dengan densitas 0,6 g/cc.



Gambar 2.15 *Hollow Glass Microspheres*[9].

Hollow Glass Microsphere sering digunakan sebagai filler dalam material komposit ringan seperti busa sintaksis (*syntactic foam*) dan beton ringan. Dengan properti densitas yang rendah, konduktivitas termal yang rendah, dan ketahanan terhadap tegangan tekan yang tinggi maka *Hollow Glass Microsphere* banyak dimanfaatkan pada bagian lambung kapal selam dan pada peralatan yang digunakan di laut dalam seperti peralatan pengeboran minyak.

Beberapa keunggulan dari *Hollow Glass Microsphere* yaitu :

- Memiliki ketahanan pada suhu tinggi
- Memiliki rasio *strength-to-density* yang tinggi
- Memiliki stabilitas kimia yang baik
- Memiliki kekuatan tekan yang tinggi

- Memiliki termal konduktivitas yang rendah
- Penyerapan terhadap minyak rendah

Contoh aplikasi lainnya, HGM ditambahkan pada PVC yang dapat memberikan keuntungan yaitu stabilitas dimensi yang baik, ketahanan terhadap suhu tinggi.



Tabel 2.2 Data spesifikasi teknis *Hollow Glass Microspheres* jenis iM30K[8]

Material Description

Property	iM30K
Shape	Hollow spheres with thin walls
Composition	Soda-lime-borosilicate glass
Color, Unaided Eye	White, powder

Physical Properties

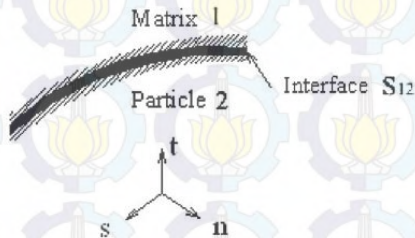
Property	iM30K	Test Method
Isostatic Crush Strength (psi)	28,000	3M QCM 14.1.8
True Density (g/cc)	0.60	3M QCM 14.24.1
Packing Factor (bulk density to true particle density)	63%	
Oil Absorption (g oil/100 cc)	33.5	ASTM D282-84 of polymer additive
Softening Point (°C)	600	
Flotation (density<1.0 g/cc)	90% (in volume)	3M QCM 37.2
Volatile Content (by weight)	0.5% max.	3M QCM 1.5.7
Alkalinity (milliequivalents)	0.5	3M QCM 55.19/gram max
pH (5% loading in water)	9.5	ASTM D3100-1982
Diameter (average)	18 microns	3M QCM 193.0

Particle Size and Distribution

Property	iM30K
10th Percentile	9 microns
25th Percentile	12 microns
50th Percentile	16 microns
75th Percentile	21 microns
90th Percentile	28 microns
95th Percentile	33 microns

2.7 Interface Epoxy - Hollow Glass Microspheres

Ikatan pada *matrix* dan penguat merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik pada komposit. Jika antara *matrix* dan penguat memiliki ikatan yang kuat maka sifat pada penguat mampu digunakan secara maksimal dalam meningkatkan kekuatan dari *matrix* tersebut.



Gambar 2.16 Interface Epoxy-HGM[10]

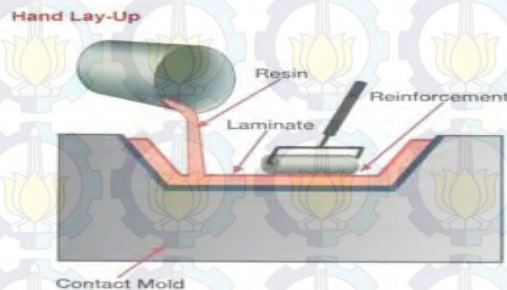
Pada gambar 2.16 menggambarkan mengenai komposit partikel dan ketebalan interface antara partikel 2 dan *matrix* 1. Dari gambar diatas dapat dilihat faktor yang mempengaruhi kekuatan dan pola patahan pada sebuah *komposit*, jika *matrix* mampu mengikat seluruh luasan pada partikel penguat maka sifat mekanik pada *komposit* akan menjadi lebih baik.

Ikatan yang terjadi antara *matrix* dengan *hollow glass microsphere* terjadi secara natural. Jika semakin banyak luasan dari HGM berikatan dengan *matrix* maka hal tersebut akan meningkatkan shear modulus, interface antara *epoxy*-HGM akan menjadi meningkat. Jika HGM bisa berikatan kuat dengan *epoxy* matriksnya maka sifat mekanik pada HGM akan bisa lebih berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan pada matriks komposit.

2.8 Metode Manufaktur Hand Lay Up

Proses manufaktur bahan komposit dengan metode *hand lay up* merupakan metode yang paling sederhana diantara metode-manufatur bahan komposit yang lain. Dikatakan sederhana karena tekniknya sangat mudah di aplikasikan yaitu cairan resin dioleskan diatas sebuah cetakan dan kemudian serat layer pertama diletakkan diatasnya, kemudian dengan menggunakan roller / kuas resin kembali diratakan. Langkah ini dilakukan terus menerus hingga didapatkan ketebalan spesimen yang diinginkan.

Metode *hand lay up* biasanya memiliki waktu curing pada suhu kamar dan akan mengering hingga satu hari tergantung jumlah resin dan jenis resin serta katalis yang diberikan. Waktu curing bisa dipersingkat dengan menyemburkan udara panas. Secara umum metode *hand lay up* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.17 Proses *Hand Lay Up* [11]

Metode *hand lay up* banyak diaplikasikan untuk pembuatan komposit yang sederhana. Keuntungan metode *hand lay up* antara lain :

1. Biaya murah
2. Proses sederhana

3. Cetakan dapat digunakan berulang kali

Disamping itu metode *hand lay up* juga memiliki kekurangan antara lain :

1. Biasanya dipakai untuk *proto type* dengan skala besar
2. Karena proses curing terbuka maka (pada temperature kamar) maka akan menimbulkan bau
3. Kualitas produk antar komponen tidak konsisten
4. Proses tidak bersih.

2.9 Perhitungan Komposit

2.9.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan volume fraksi atau berat fraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan di bawah ini:

$$\text{Fraksi volume total : } V_h + V_m = 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Fraksi volume matriks : } V_m = v_m / v_c \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Fraksi volume penguat: } V_h = v_h / v_c \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Fraksi berat total : } W_h + W_m = 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Fraksi berat matriks : } W_m = w_m / w_c \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Fraksi berat penguat : } W_h = w_f / w_c \dots\dots\dots (2.6)$$

Dari persamaan 2.1-2.6, didapatkan: $V_c = V_m + V_h$

m = matriks

h = *Hollow Glass Microsphere*

c = komposit

V = Volume fraksi

W = berat fraksi $v = \text{volume (m}^3\text{)}$ $w = \text{berat (kg)}$

2.9.2 Karakteristik Campuran

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan berat. Hal ini karena dengan menggunakan berat lebih memudahkan pengerjaannya. Berikut adalah konversi dari volume terhadap berat dan sebaliknya:

$$\text{Massa } h = \rho_h V_h \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\text{Massa } m = \rho_m V_m \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

V_h = volume penguat

V_m = volume matriks

W_h = berat penguat

W_m = berat matriks

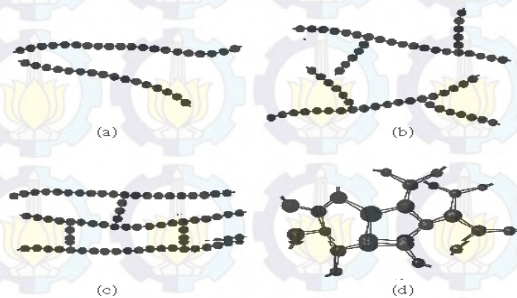
2.10 Proses Curing

Inti dari mekanisme *curing* material termoset ialah bagaimana proses *crosslink* dapat terjadi. Reaksi *crosslink* pada *epoxy* resin diharapkan terjadi pada saat campuran resin dan penguat telah dimasukkan ke dalam cetakan. *Curing* (*crosslinking*) dapat terjadi pada temperatur tinggi (100 °C) seperti pada proses *pressure molding* atau pada temperatur ruang pada proses *hand lay-up*. Proses yang terjadi adalah molekul yang berukuran sedang saling berikatan membentuk ikatan molekul yang lebih besar. Hasilnya material yang telah mengalami proses *curing* menjadi lebih padat dan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kekerasan. Karena memiliki ikatan *crosslink* sehingga material ini tidak dapat dilelehkan kembali. Agar *curing* dapat terjadi maka *epoxy* resin harus ditambahkan *hardener*.

Proses *curing* dapat dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji tersebut pada temperatur tertentu. Namun temperatur tersebut tidak boleh melebihi *glass transition*

temperature, karena akan menyebabkan material menjadi lunak. Saat proses *curing* dilakukan pada temperatur tinggi, maka material molekul–molekul resin akan menerima lebih banyak energi. Hal ini menyebabkan meningkatnya pergerakan molekul–molekul sehingga molekul tersebut akan memiliki banyak waktu untuk membentuk susunan rantai *polymer* yang lebih teratur.

Proses *curing* yang sempurna dapat terjadi pada temperatur tinggi. Seiring dengan meningkatnya temperatur, maka aktivitas molekul dan polimerisasi juga meningkat. Hal tersebut menyebabkan adanya perubahan dari fase *rubber* berubah menjadi fase *glass* yang lebih kuat dan rapuh. Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer-monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar. Tipe rantai polimer dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Tipe rantai polimer (a) *Linear*, (b) *Branched*, (c) *Cross-linked*, (d) *network* [12]

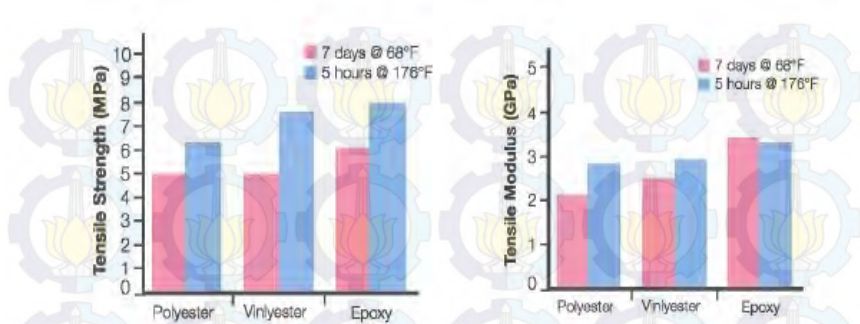
Selain pengaruh panas hal yang mempengaruhi proses pembentukan *cristalinity* yaitu bentuk rantai pada polimer, panjang rantai polimer.

2.11 Post-curing

Tujuan dilakukan proses *post-curing* adalah untuk memperbaiki sifat-sifat yang dimiliki oleh komposit. Proses *post-curing* dilakukan dengan cara memanaskan material benda uji tersebut pada temperatur tertentu, tetapi temperatur tersebut tidak boleh melebihi *glass transition temperature* (T_g), karena jika melebihi temperatur tersebut akan menyebabkan material tersebut menjadi ulet. Pada waktu dilakukan *post-curing*, molekul-molekul material pada kondisi ini menerima lebih banyak energi dan meningkatkan pergerakan molekul-molekul tersebut. Molekul-molekul tersebut tersusun ulang dan membentuk ikatan *crosslink*. Hal ini menyebabkan material menjadi lebih fleksibel. Ketika material tersebut didinginkan maka mobilitas dari molekul akan turun kembali dan menyebabkan material menjadi kaku kembali. Fenomena ini menyebabkan material mengalami peningkatan tegangan.

	None(b)	None(c)
Amino resins (melamine-formaldehyde)		
Bismaleimide	230–345(c)	450–650(c)
Epoxy resins	80–175	140–350
Phenolic resins	300	570
Polyester resins	110	230
Polyimide resins	315–370(c)	600–700(c)
Polyurethane (cast)	135	275
Polyurethane (elastomer)
Silicone	–125	–193
Urethane rigid foam

Gambar 2.19 *T_g epoxy resin menurut jurnal “Characterization and Failure Analysis of Plastics” oleh ASM International diterbitkan pada Desember 2003 pada halaman 117 [13].*



Gambar 2.20 Grafik hasil uji tarik dan modulus tensile antar resin polyester, vinylester, dan epoxy yang di-curing dan *post-curing*[13].

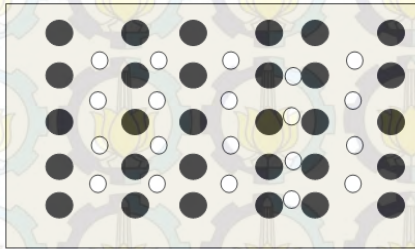
Dari gambar 2.20 menunjukkan hasil kenaikan kekuatan tarik sebesar hampir 2 MPa dan modulus tarik sebesar 1 MPa antara resin polyester yang di-curing pada suhu kamar dengan resin polyester yang di *post-curing* pada temperature 80°C selama 5 jam.

2.12 *Rules of Mixture*

Rules of mixture (ROM) merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung kekuatan pada komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun dengan menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. ROM bisa digunakan untuk perhitungan kekuatan tarik karena pada saat pengujian tarik spesimen uji memiliki sifat isotropik yang memiliki gaya keseluruhan arah sama besar. ROM menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_c = \sigma_m \cdot V_m + \sigma_r \cdot V_r \dots\dots\dots(2.9)$$

Komposit adalah suatu material yang terdiri dari gabungan antara dua atau lebih material penyusun yang sifatnya berbeda. Bahan material ini terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai bahan penguat (*reinforcement*) dan bahan pengikat (*matrix*). Bahan penguat memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan *matrix* sehingga komposit memiliki sifat gabungan dari material penyusunya.



Gambar 2.21 Molekul penyusun komposit[9].

Terlihat pada gambar 2.12 penyusun komposit berupa *matrix*, *reinforcement*, dan juga *void*. Dengan adanya ketiga penyusun tersebut dengan kekuatan masing-masing penyusun maka bisa diprediksi secara teoritis sesuai ROM kekuatan pada kompositnya.

2.13 Pengujian tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material dapat dilakukan dengan pengujian tarik terhadap material komposit tersebut. Kekuatan tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui kekuatan dari suatu material hingga mengalami kegagalan. Uji tarik dilakukan dengan cara penarikan spesimen dengan gaya tarik secara terus-menerus hingga putus.

Hasil uji tarik tersebut mencatat fenomena hubungan antara beban-perpanjangan yang terjadi selama proses uji

tarik dilakukan dan kemudian dikonversikan menjadi hubungan tegangan-regangan. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan.

Pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 3039/D 3039M – 95a. Dari pengujian tarik diperoleh data berupa beban maksimum yang dapat ditahan komposit sebelum patah dan pertambahan panjang. Dari data-data tersebut dapat dicari nilai kekuatan tarik tegangan, regangan, dan modulus elastisitas komposit. Gambar pengujian sesuai dengan gambar 2.22.



Gambar 2.22 Skema uji tarik

Besarnya nilai kekuatan tarik komposit dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

σ_c = kekuatan tarik komposit (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang patahan (mm²)

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang akibat pembebanan dibanding dengan panjang awal dan dinyatakan dalam persamaan:

$$\epsilon_e = \frac{\delta L}{AL} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

ϵ_e = regangan

δL = pertambahan panjang (mm)

L = panjang mula-mula (mm)

Modulus elastisitas adalah harga yang menunjukkan kekuatan komposit pada daerah proporsionalnya. Pada daerah proporsional ini deformasi yang terjadi masih bersifat elastis. Besarnya nilai modulus elastisitas komposit merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan pada daerah proporsionalnya, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas (MPa)

σ = kekuatan tarik komposit (MPa)

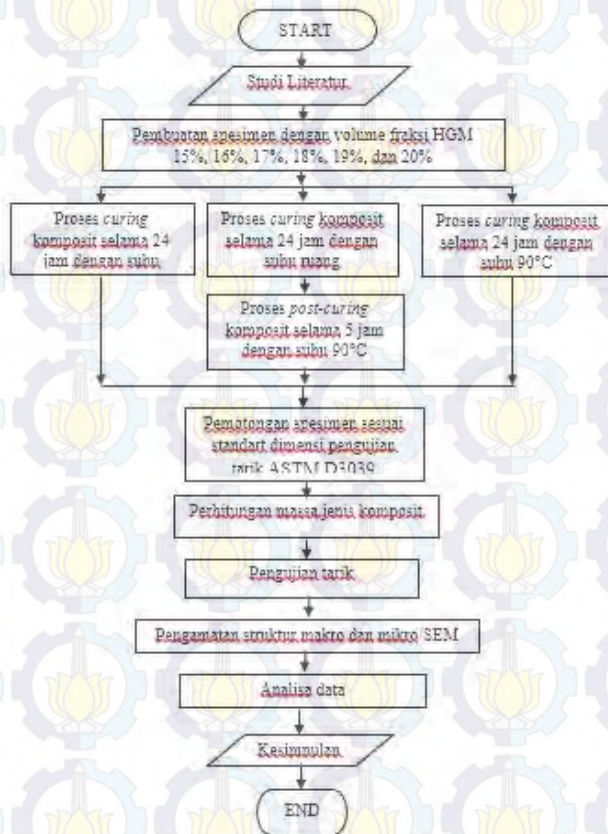
ϵ = regangan



BAB 3

METODE PENELITIAN

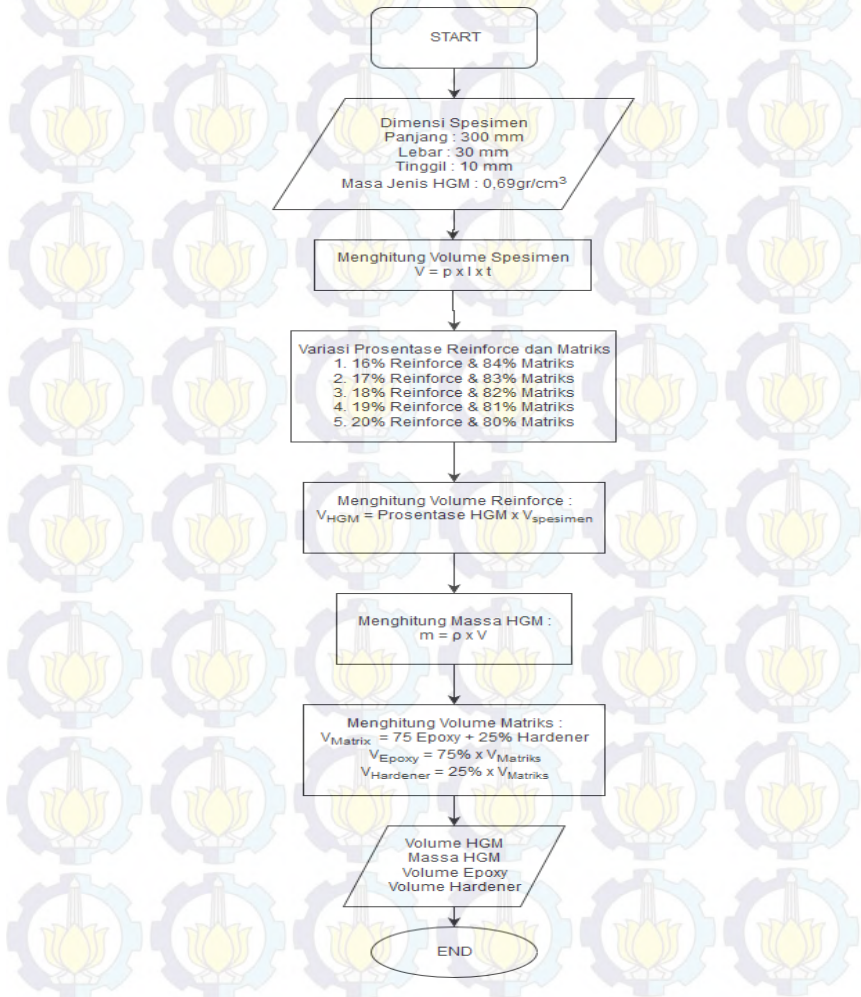
3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian.

3.2 Persiapan Spesimen.

3.2.1 Flowchart Perhitungan.



Gambar 3.2 Skema diagram alir perhitungan.

3.2.2 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan pada pembuatan material komposit, untuk menghitung volume *reinforcement* yaitu *hollow glass microspheres* dan volume *matrix* yang terdiri dari *epoxy* dan *hardener*.

- Menghitung volume spesimen :
 $V_{\text{Spesimen}} = p \times l \times t$
 $V_{\text{Spesimen}} = 300 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$
 $V_{\text{Spesimen}} = 90000 \text{ mm}^3 = 90 \text{ cm}^3$
- Menghitung volume *reinforcement* :
 Contoh : Prosentase HGM 16%
 $V_{\text{HGM}} = \text{Prosentase HGM} \times V_{\text{Spesimen}}$
 $V_{\text{HGM}} = 16\% \times 90 \text{ cm}^3$
 $V_{\text{HGM}} = 14,4 \text{ cm}^3$
- Menghitung massa *hollow glass microspheres* :
 Contoh = Prosentase HGM 16%
 $m = \rho \times V_{\text{HGM}}$
 $m = 0,69 \text{ gr/cm}^3 \times 14,4 \text{ cm}^3$
 $m = 9,96 \text{ gr}$
- Menghitung volume *matrix*
 Contoh : Prosentase Matrix 84%
 $V_{\text{Matriks}} = \text{Prosentase Matrix} \times V_{\text{Spesimen}}$
 $V_{\text{Matriks}} = 84\% \times 90 \text{ cm}^3$
 $V_{\text{Matriks}} = 75,6 \text{ cm}^3$
 $V_{\text{Matriks}} = 75\% \text{ Epoxy} + 25\% \text{ Hardener}$
 $V_{\text{Epoxy}} = 75\% \times V_{\text{Matriks}}$
 $V_{\text{Epoxy}} = 75\% \times 75,6 \text{ cm}^3$
 $V_{\text{Epoxy}} = 56,7 \text{ cm}^3$
 $V_{\text{Hardener}} = 25\% \times V_{\text{Matriks}}$
 $V_{\text{Hardener}} = 25\% \times 75,6 \text{ cm}^3$
 $V_{\text{Hardener}} = 18,9 \text{ cm}^3$

3.2.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada pembuatan material komposit campuran antara *Epoxy* resin dengan *Hollow Glass Microspheres* (HGM) adalah variasi fraksi volume HGM dengan epoxy dan temperatur *curing* dan *post-curing*.

Tabel 3.1 Variasi fraksi volume hollow glass microspheres dan epoxy resin untuk curing temperature 27°C selama 24 jam.

Kode Spesimen	Fraksi Volume HGM %	panjang (cm)	lebar (cm)	tinggi (cm)	Volume Total (cm ³)	Vol Epoxy Total (cm ³)	Vol Epoxy (cm ³)	Vol Hardener (cm ³)	Vol HGM (gr)	Massa HGM (gr)
A15	15%	30	3	1	90	76.5	57.375	19.125	13.5	8.235
A16	16%	30	3	1	90	75.6	56.7	18.9	14.4	8.784
A17	17%	30	3	1	90	74.7	56.025	18.675	15.3	9.333
A18	18%	30	3	1	90	73.8	55.35	18.45	16.2	9.882
A19	19%	30	3	1	90	72.9	54.675	18.225	17.1	10.431
A20	20%	30	3	1	90	72	54	18	18	10.98

Kode A = untuk spesimen yang di-*curing* pada temperature 27°C selama 24 jam.

Tabel 3.2 Variasi fraksi volume hollow glass microspheres dan epoxy resin untuk curing temperature 27°C selama 24 jam lalu post-curing 90°C selama 5 jam.

Kode Spesimen	Fraksi Volume HGM %	panjang (cm)	lebar (cm)	tinggi (cm)	Volume Total (cm ³)	Vol Epoxy Total (cm ³)	Vol Epoxy (cm ³)	Vol Hardener (cm ³)	Vol HGM (gr)	Massa HGM (gr)
B15	15%	30	3	1	90	76.5	57.375	19.125	13.5	8.235
B16	16%	30	3	1	90	75.6	56.7	18.9	14.4	8.784
B17	17%	30	3	1	90	74.7	56.025	18.675	15.3	9.333
B18	18%	30	3	1	90	73.8	55.35	18.45	16.2	9.882
B19	19%	30	3	1	90	72.9	54.675	18.225	17.1	10.431
B20	20%	30	3	1	90	72	54	18	18	10.98

Kode B = untuk spesimen yang di-*curing* pada temperature 27°C selama 24 jam. Lalu *post-curing* 90°C selama 5 jam.

Tabel 3.3 Variasi fraksi volume *hollow glass microspheres* dan *epoxy resin* untuk *curing* temperature 90°C selama 24 jam.

Kode Spesimen	Fraksi Volume HGM %	panjang (cm)	lebar (cm)	tinggi (cm)	Volume Total (cm ³)	Vol Epoxy Total (cm ³)	Vol Epoxy (cm ³)	Vol Hardener (cm ³)	Vol HGM (gr)	Massa HGM (gr)
C15	15%	30	3	1	90	76.5	57.375	19.125	13.5	8.235
C16	16%	30	3	1	90	75.6	56.7	18.9	14.4	8.784
C17	17%	30	3	1	90	74.7	56.025	18.675	15.3	9.333
C18	18%	30	3	1	90	73.8	55.35	18.45	16.2	9.882
C19	19%	30	3	1	90	72.9	54.675	18.225	17.1	10.431
C20	20%	30	3	1	90	72	54	18	18	10.98

Kode C = untuk spesimen yang di-*curing* pada temperature 90°C selama 24 jam.

Tabel 3.4 density teori komposit *epoxy-hollow glass microspheres*.

Kode Spesimen	Prosentase HGM	volume (cm ³)	Berat Komposit	Masa jenis	Massa Jenis rata-rata (gr/cm ³)
A15	15%	90	93.12075	1.03468	1.034675
B15	15%	90	93.12075	1.03468	
C15	15%	90	93.12075	1.03468	
A16	16%	90	92.59704	1.02886	1.028856
B16	16%	90	92.59704	1.02886	
C16	16%	90	92.59704	1.02886	
A17	17%	90	92.07711	1.02308	1.023079
B17	17%	90	92.07711	1.02308	
C17	17%	90	92.07711	1.02308	
A18	18%	90	91.56096	1.01734	1.017344
B18	18%	90	91.56096	1.01734	
C18	18%	90	91.56096	1.01734	
A19	19%	90	91.04859	1.01165	1.011651
B19	19%	90	91.04859	1.01165	
C19	19%	90	91.04859	1.01165	
A20	20%	90	90.54	1.006	1.006
B20	20%	90	90.54	1.006	
C20	20%	90	90.54	1.006	

3.3 Material

Material komposit dibuat dengan mencampurkan *Hollow Glass Microspheres* (HGM), dan *epoxy* resin sesuai dengan variasi fraksi volume HGM yang digunakan adalah 15%, 16%, 17%, 18%, 19% dan 20% yang kemudian dituang ke dalam cetakan. Perbandingan fraksi volume *Epoxy* resin : *Hardener* adalah 75% :

25%. Berikut bahan-bahan yang digunakan untuk membuat komposit.

1. *Epoxy resin adhesives dan hardener.*

Epoxy resin dan hardener yang digunakan penelitian ini yaitu jenis *adhesive* seperti pada gambar 3.3. *Epoxy* dan *hardener* pada material komposit ini berfungsi sebagai matrix.



Gambar 3.3 Resin.

2. *Hollow Glass Microspheres jenis iM30K.*

Pada penelitian ini *Hollow Glass Microspheres* digunakan sebagai reinforcement. *Hollow Glass Microspheres* yang digunakan yaitu jenis iM30K seperti pada gambar 3.4



Gambar 3.4 HGM jenis iM30K.

3. Wax.

Wax atau biasa disebut mold release seperti pada gambar 3.5. Wax digunakan untuk melapisi cetakan supaya material komposit tidak melekat pada cetakan pada saat kering.



Gambar 3.5 Wax.

3.4 Peralatan Yang Digunakan

1) Timbangan digital

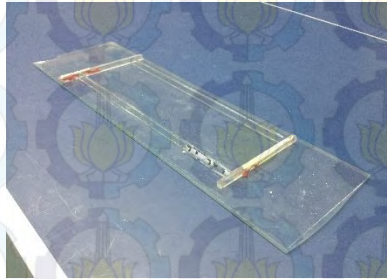
Timbangan digital untuk menimbang massa dari *epoxy*, *hardener* dan *Hollow Glass Microsphere*, sehingga sesuai dengan perhitungan fraksi volume. Timbangan Digital dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Timbangan digital

2) Cetakan kaca

Cetakan kaca digunakan sebagai cetakan dari *epoxy* dan *Hollow Glass Microsphere*. Cetakan ini memiliki kapasitas $310 \times 90 \times 01 \text{ mm}^3$. Cetakan kaca dipilih karena dapat menghasilkan hasil permukaan komposit yang baik. Cetakan kaca dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Cetakan kaca

3) Plat baja

Plat baja digunakan pada komposit sebagai pegangan pada penjepit mesin uji tarik agar tidak terjadi slip. Plat baja seperti gambar 3.8 ini dilubangi dan direkatkan pada komposit menggunakan lem epoxy.



Gambar 3.8 Plat baja

4) Lilin malam

Lilin malam seperti pada gambar 3.9 digunakan untuk merekatkan ujung-ujung cetakan kaca serta pada bagian bawah kaca. Tujuannya agar campuran *resin-epoxy* dan *hollow glass microspheres* tetap berada pada cetakan.



Gambar 3.9 Lilin malam

5) Sendok pengaduk

Sendok pengaduk berfungsi untuk mengaduk campuran *resin-epoxy* dan *hollow glass microspheres* agar tercampur rata. Sendok pengaduk yang digunakan seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Sendok pengaduk

7) Kapi

Kapi digunakan untuk mengambil komposit yang telah mengeras dari cetakan

kaca. Kapi yang digunakan untuk melepaskan material dari cetakan dapat dilihat di gambar 3.11.



Gambar 3.11 Kapi

8) Alat pemotong

Alat pemotong atau biasa disebut gerinda tangan dapat dilihat pada gambar 3.12. Gerinda tangan digunakan untuk memotong komposit sesuai dengan dimensi pengujian.



Gambar 3.12 Gerinda

9) Lem epoxy

Lem *epoxy* digunakan untuk merekatkan komposit yang telah dipotong dengan plat baja. Lem *epoxy* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Lem epoxy

10) Heater (Furnace)

Furnace digunakan untuk proses *curing* ini adalah furnace milik Teknik Mesin ITS Surabaya . Furnace yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Furnace

11) Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.15. Mesin uji tarik yang digunakan adalah mesin uji tarik milik Teknik Sipil ITS Surabaya.



Gambar 3.15 Mesin Uji Tarik

11. **Mikroskop Olympus BX60M**

Pengamatan makroskopis dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada material komposit dengan menggunakan Mikroskop seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Mikroskop Olympus BX60M

12. **Scanning Electron Microscope Zeiss EVO MA 10**

Pengamatan mikroskopis dilakukan untuk mengetahui pola patahan pada material komposit dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Scanning Electron Microscope Zeiss EVO MA 10.

Tabel 3.5 Hasil eksperimen.

Kode Spesimen	P (KN)	L0 (mm)	lebar (mm)	A0 (mm ²)	Δl (mm)	L1 (mm)	berat (g)	σ UTS (MPa)	ϵ (%)	Mod. Young
A15										
B15										
C15										
A16										
B16										
C16										
A17										
B17										
C17										
A18										
B18										
C18										
A19										
B19										
C19										
A20										
B20										
C20										

3.5 Langkah-langkah Percobaan

3.5.1 Pembuatan Komposit

Penelitian ini menggunakan matriks *Epoxy-resin* dengan penguat *Hollow Glass Microsphere* jenis iM30K.

Proses pembuatan komposit sebagai berikut:

1. Cetakan silinder dibersihkan dan dilapisi dengan wax secara merata, Hal ini bertujuan agar komposit mudah dilepas dari cetakan ketika material telah jadi. Komposit dibuat sesuai dengan variasi seperti pada tabel 3.4. Bagian bawah cetakan ditutup dengan silicon tahan panas agar komposit aman pada saat di oven.
2. *Epoxy resin* dan *Hollow Glass Microsphere* diukur sesuai dengan perbandingan volume variasi pada tabel 3.4. Kemudian diaduk hingga merata selama kurang lebih 15 menit agar campuran *epoxy-hollow glass microspeheres* merata serta mengurangi *void* pada hasil komposit tersebut. Selanjutnya ditambahkan *hardener* dengan perbandingan 25 % dari volume *epoxy*.
3. Campuran dituang ke dalam cetakan dan diratakan.

4. Variasi yang menggunakan temperatur dimasukan kedalam oven konvensional dengan suhu 90°C dan dibiarkan selama 24 jam dan untuk variasi menggunakan temperatur ruang dibiarkan dalam cetakan untuk menjalani proses *curing* selama 24 jam pada temperatur kamar.
5. Setelah 24 jam oven dimatikan dan komposit dibiarkan di dalam oven hingga temperatur oven turun sampai temperatur ruang.
6. Variasi dengan kode spesimen B dilakukan proses *post-curing* pada oven konvensional selama 5 jam dengan suhu 90°C .
7. Komposit dilepas dari cetakan.

3.5.2 Pengamatan Bentuk Fisik Komposit

Setelah proses *curing*, komposit diamati apakah terdapat cacat pada komposit. Apabila terdapat cacat pada komposit seperti retak atau porositas pada permukaan, maka komposit tersebut tidak dapat digunakan dan proses pembentukannya harus diulang dari awal.

3.6 Prosedur Perhitungan Massa Jenis Komposit

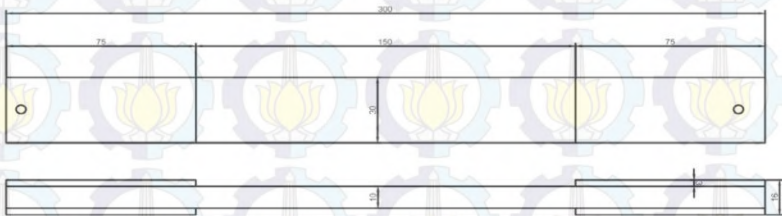
Sebelum dilakukakan pengujian tarik, spesimen uji akan dihitung massa jenisnya. Untuk perhitungan berat akan menggunakan timbangan digital dan untuk perhitungan volumenya akan menggunakan teori dasar archimedes yaitu dengan memanfaatkan bertambahnya volume air ketika ditambahkan benda lain kedalam volume air tersebut.

Setelah spesimen ditimbang dan didapatkan beratnya spesimen akan dimasukkan kedalam gelas ukur, maka akan didapatkan peningkatan volume air pada gelas ukur. Peningkatan tersebut akan dikurangi volume air awal dan didapatkan besar volume spesimen tersebut.

3.7 Pelaksanaan Uji Tarik

3.7.1 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik pada penelitian ini dibentuk berdasarkan standar uji tarik komposit yaitu ASTM D3039, “*Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*”. Bentuk serta dimensi dari spesimen uji tarik adalah seperti gambar 3.14. Mesin uji tarik yang digunakan adalah kapasitas maksimum 30 KN untuk pengujian spesimen. Hasil dari pengujian yang diperoleh dari mesin uji tarik serta kekuatan tarik maksimum spesimen. Grafik tegangan-regangan, perpanjangan dihitung secara manual.



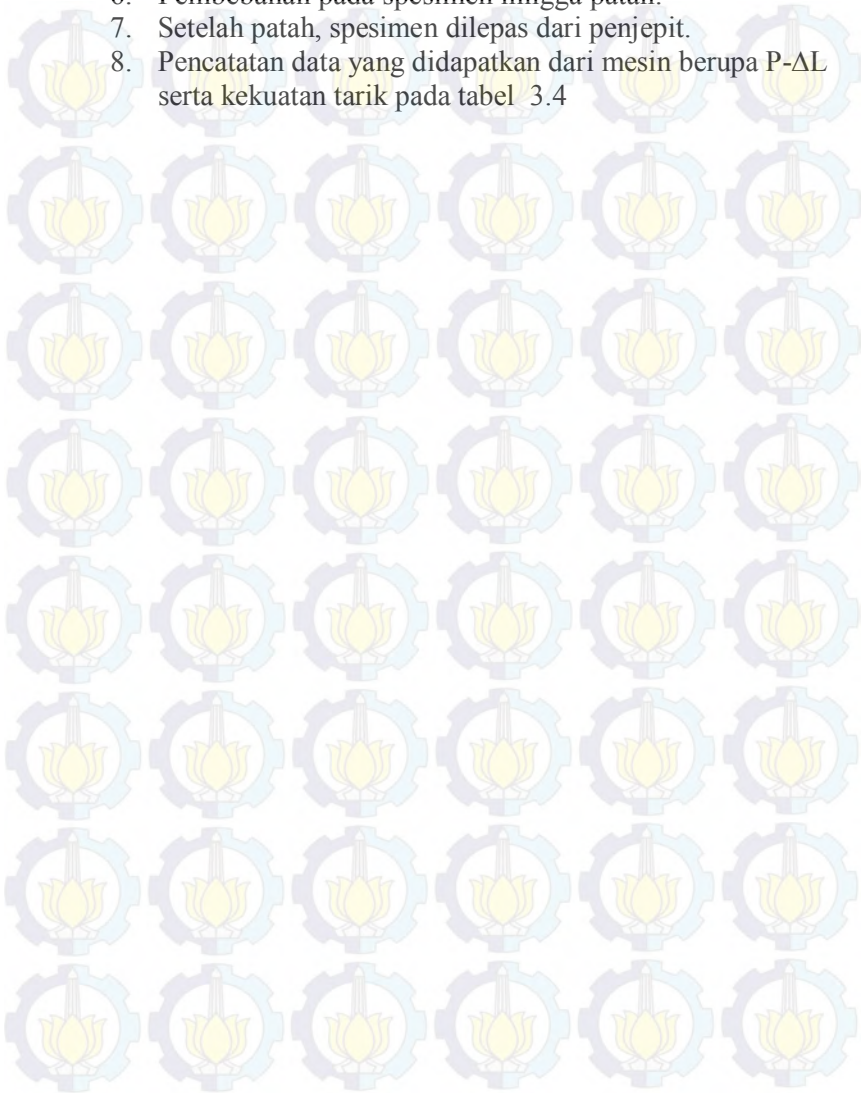
Gambar 3.18 Spesimen uji tarik (dimensi dalam mm).

3.7.2 Prosedur uji tarik

Pengujian tarik dilakukan sebagai berikut:

1. Masing-masing spesimen diberi label sesuai variabel yang digunakan.
2. Pencatatan dimensi awal dari spesimen, yaitu :
 - Panjang awal (L0).
 - Tebal (b).
 - Lebar (d).
3. Memasang spesimen pada penjepit/*chuck*.
4. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
5. Mencatat data *yield strength* dan *Ultimate Tensile strength* (UTS)

6. Pembebanan pada spesimen hingga patah.
7. Setelah patah, spesimen dilepas dari penjepit.
8. Pencatatan data yang didapatkan dari mesin berupa P- Δ L serta kekuatan tarik pada tabel 3.4



BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Spesimen Uji

Setelah proses pembuatan komposit, komposit diukur dimensinya terlebih dahulu sebelum di uji tarik. Pada tabel 4.1 terdapat data dimensi spesimen uji komposit, untuk kode A adalah komposit dengan variasi temperatur *curing* 27°C selama 24 jam, sedangkan untuk kode B adalah komposit dengan variasi temperature *curing* 27°C selama 24 jam + *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam dan untuk kode C adalah komposit dengan variasi temperatur curing 90°C selama 24 jam.

Tabel 4.1 Dimensi Spesimen Uji Komposit *Epoxy-HGM*.

Kode Spesimen	Vol% HGM	Temp. (°C)	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
15A	15%	Temperatur Ruang	9.97	30.94	300.24
15A			10.35	30.61	300.52
15A			9.73	30.49	300.28
16A	16%		10.36	29.89	300.27
16A			10.38	30.19	300.61
16A			10.52	30.12	300.37
17A	17%		9.79	30.21	300.35
17A			10.14	30.81	300.27
17A			10.62	31.1	300.19
18A	18%		10.25	30.34	300.17
18A			10.89	29.79	300.35
18A			11.19	29.75	300.29
19A	19%		10.17	29.89	300.39
19A			9.86	30.21	300.62
19A			9.87	30.13	300.48

Tabel Lanjutan 4.1 Dimensi Spesimen Uji Komposit *Epoxy-HGM*.

20A			9.92	30.61	300.51
20A	20%		10.59	30.33	300.69
20A			10.38	29.91	300.28
15B			10.12	29.61	300.76
15B	15%		10.06	29.81	300.52
15B			10.07	29.79	300.19
16B			10.08	30.22	300.42
16B	16%		9.98	30.37	300.37
16B			10.19	29.89	300.26
17B			10.27	29.82	300.19
17B	17%	Temperatur Kurat	10.11	29.84	300.61
17B			10.5	30.31	299.78
18B			9.75	29.92	300.76
18B	18%	Post Curing 90 menit	9.98	30.74	301.14
18B			10.19	29.98	300.19
19B			9.94	30.17	300.62
19B	19%		10.43	30.61	300.19
19B			9.95	30.98	300.52
20B			10.22	29.91	300.58
20B	20%		10.78	30.45	300.17
20B			10.56	29.98	300.19
15C			9.97	30.27	300.18
15C	15%		10.35	29.81	300.27
15C			9.75	30.29	300.43
16C			10.36	29.89	300.37
16C	16%		10.38	29.19	300.41
16C			10.52	30.11	300.39
17C			9.79	30.23	300.78
17C	17%	Temperatur 90 menit	10.14	29.68	300.67
17C			10.62	29.82	300.47
18C			10.25	30.84	300.71
18C	18%		10.89	30.19	300.59
18C			11.19	30.2	300.45
19C			10.17	30.65	300.29
19C	19%		9.86	30.79	300.19
19C			9.87	30.58	300.15

Tabel Lanjutan 4.1 Dimensi Spesimen Uji Komposit *Epoxy-HGM*.

20C			9.92	30.23	300.51
20C			10.59	30.67	300.48
20C			10.38	30.78	300.63

4.1.1 Perhitungan *Rule Of Mixture*

Sebelum dilakukan pengujian tarik komposit dilakukan penghitungan *Rules Of Mixture* (ROM) untuk mengetahui kekuatan komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap penyusun menggunakan fraksi volume tiap penyusun tersebut. Perhitungan *Rules Of Mixture* (ROM) dilakukan pada masing-masing variasi temperatur. Pada Tabel 4.2 adalah perhitungan *Rules Of Mixture* (ROM) untuk komposit yang di *curing* pada temperature 27°C Selama 24 Jam. Kemudian Tabel 4.2 untuk komposit dengan temperature *curing* 27°C Selama 24 Jam dan *Post Curing* Temperatur 90°C Selama 5 Jam. Dan Tabel 4.3 Untuk komposit dengan temperature *curing* 90°C Selama 24 Jam.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Rule Of Mixture* Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-HGM* Curing Temperatur 27°C Selama 24 Jam.

Prosentase HGM	Prosentase Epoxy	Kekuatan Epoxy (Mpa)	Kekuatan HGM (Mpa)	ROM
15%	85%	9.111	193.05	36.702
16%	84%	9.111	193.05	38.541
17%	83%	9.111	193.05	40.381
18%	82%	9.111	193.05	42.220
19%	81%	9.111	193.05	44.059
20%	80%	9.111	193.05	45.899

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan *Rule Of Mixture* Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-HGM* Curing Temperatur 27°C Selama 24 Jam dan Post Curing Temperatur 90°C Selama 5 Jam.

Prosentase HGM	Prosentase Epoxy	Kekuatan Epoxy (Mpa)	Kekuatan HGM (Mpa)	ROM
15%	85%	10.393	193.05	37.792
16%	84%	10.393	193.05	39.618
17%	83%	10.393	193.05	41.445
18%	82%	10.393	193.05	43.272
19%	81%	10.393	193.05	45.098
20%	80%	10.393	193.05	46.925

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan *Rule Of Mixture* Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-HGM Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam.

Prosentase HGM	Prosentase Epoxy	Kekuatan Epoxy (Mpa)	Kekuatan HGM (Mpa)	ROM
15%	85%	11.004	193.05	38.311
16%	84%	11.004	193.05	40.132
17%	83%	11.004	193.05	41.952
18%	82%	11.004	193.05	43.773
19%	81%	11.004	193.05	45.593
20%	80%	11.004	193.05	47.413

Dari masing-masing tabel *Rules Of Mixture* (ROM) diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan prosentase HGM pada masing-masing variasi temperature *curing* kekuatan komposit mengalami peningkatan.

4.1.2 Perhitungan Density

Setelah proses perhitungan kekuatan komposit menggunakan teori *Rules Of Mixture* kemudian dilakukan perhitungan masa jenis komposit. Dari tabel 4.5 diperoleh data masa jenis komposit untuk prosentase 15%, 16%, 17%, 18%, 19% dan 20%. Penambahan prosentase HGM berpengaruh terhadap masa jenis komposit dimana semakin besar prosentase HGM masa jenis nya semakin ringan. Hal tersebut dikarenakan masa jenis HGM sebagai *reinforcement* yang lebih ringan dibandingkan masa jenis *epoxy* sebagai *matrix*.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Density Spesimen Uji Komposit Epoxy-HGM.

Kode Spesimen	Prosentase HGM	Volume (cm ³)	Berat (gr)	Massa Jenis (gr/cm ³)	Massa Jenis rata-rata (gr/cm ³)
A15	15%	97.26028	89.67	0.921938	0.934026
B15	15%	93.54815	89.34	0.955016	
C15	15%	96.41102	89.19	0.925102	
A16	16%	92.98173	87.34	0.939324	0.928746
B16	16%	94.20282	87.18	0.92545	
C16	16%	95.14436	87.53	0.91997	
A17	17%	93.36707	85.65	0.917347	0.89901
B17	17%	93.80837	85.76	0.914204	
C17	17%	99.14733	85.81	0.865479	
A18	18%	93.34837	83.44	0.893856	0.862618
B18	18%	97.43747	83.67	0.858705	
C18	18%	100.0009	83.53	0.835293	
A19	19%	91.31294	81.87	0.896537	0.847385
B19	19%	96.62759	81.01	0.821373	
C19	19%	98.41114	81.11	0.824195	
A20	20%	100.4488	77.27	0.769247	0.800217
B20	20%	96.58003	76.89	0.796127	
C20	20%	93.22667	77.87	0.835276	

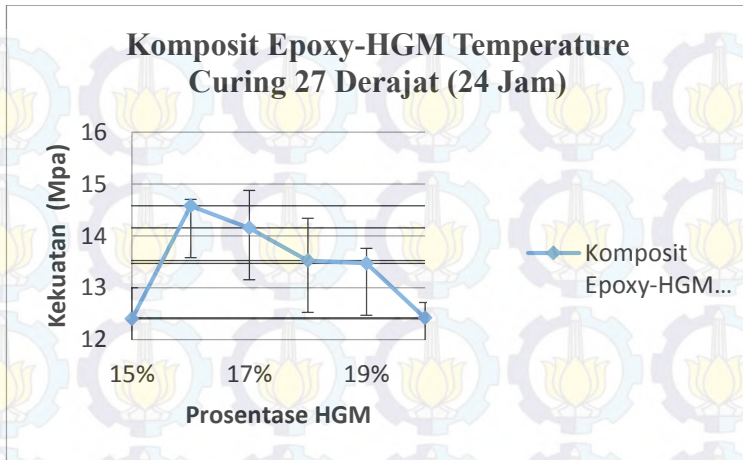
4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Komposit

Pengujian tarik dilakukan pada mesin uji tarik di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil ITS sesuai dengan standar pengujian tarik komposit ASTM D3039. Berikut merupakan data hasil pengujian dari tarik *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*.

Tabel 4.6 Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy-HGM Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam.

4

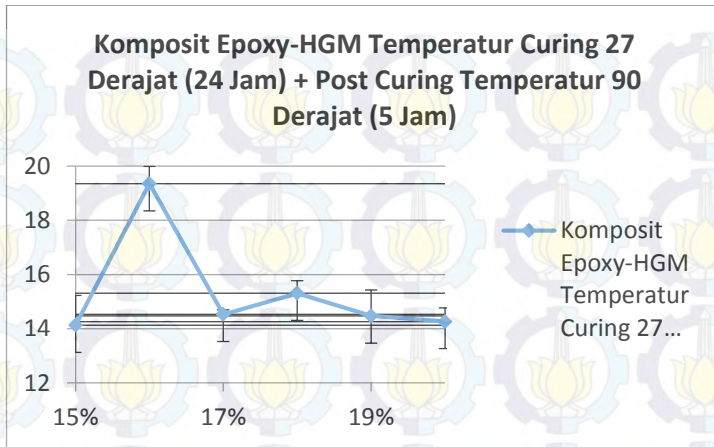
Vol fraksi HGM	Temp. (°C)	σ UTS (MPa)	σ UTS rata-rata	ε	ε rata- rata	E (MPa)	E (MPa) rata-rata	Toughness (N.mm/mm³)	Toughness (Joule/mm³)	Toughness (N.mm/mm³) rata- rata	Toughness (Joule/mm³) rata-rata
15%	Temperatur 27°C 24 jam	12.731	12.716	0.029	0.022289	443.290	592.814	0.1482	0.000148	0.1443	0.000144
		12.424		0.020		629.610		0.1238	0.000124		
		12.991		0.018		705.543		0.1609	0.000161		
16%		14.577	14.581	0.026	0.025311	567.039	576.819	0.1844	0.000184	0.2202	0.000220
		14.706		0.026		559.583		0.1907	0.000191		
		14.460		0.024		603.835		0.2856	0.000286		
17%		14.548	13.915	0.025	0.02568	576.707	542.742	0.2191	0.000219	0.1885	0.000189
		14.593		0.025		573.908		0.1601	0.000160		
		12.603		0.026		477.613		0.1865	0.000187		
18%		14.467	13.527	0.036	0.029434	404.007	466.353	0.2585	0.000259	0.2054	0.000205
		13.161		0.026		504.108		0.1774	0.000177		
		12.954		0.026		490.945		0.1803	0.000180		
19%	13.138	13.471	0.020	0.02224	660.863	608.511	0.1557	0.000156	0.1841	0.000184	
	13.653		0.023		585.135		0.1982	0.000198			
	13.623		0.024		579.535		0.1985	0.000199			
20%	12.393	12.422	0.026	0.030149	472.175	419.219	0.2235	0.000224	0.1749	0.000175	
	12.141		0.035		342.192		0.1371	0.000137			
	12.731		0.029		443.290		0.1640	0.000164			



Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur Curing 27°C (24 Jam).

Tabel 4.7 Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy-HGM Curing* Temperatur 27°C Selama 24 Jam dan *Post Curing* Temperatur 90°C Selama 5 Jam.

Vol fraksi HGM	Temp. (°C)	σ UTS (MPa)	σ UTS rata-rata	ϵ	ϵ rata-rata	E (MPa)	E (MPa) rata-rata	Toughness (N.mm/mm ³)	Toughness (Joule/mm ³)	Toughness (N.mm/mm ³)	Toughness (Joule/mm ³) rata-rata
		14.656		0.030		485.717		0.2264	0.000226		
15%		14.868	14.124	0.029	0.026	518.410	556.4055	0.2394	0.000239	0.2068	0.00021
		12.850		0.019		665.090		0.1544	0.000154		
		19.392		0.030		643.548		0.3012	0.000301		
16%		19.962	19.349	0.029	0.029	678.061	668.0462	0.3014	0.000301	0.3005	0.00030
		18.692		0.027		682.530		0.2989	0.000299		
	Temperatur 27°C	14.346		0.026		553.189		0.2118	0.000212		
17%	24 jam	14.630	14.531	0.025	0.026	577.807	566.931	0.2506	0.000251	0.2196	0.00022
	+	14.617		0.026		569.797		0.1965	0.000197		
	Post Curing	15.642		0.030		526.070		0.2450	0.000245		
18%	90°C (5 jam)	15.509	15.307	0.022	0.027	707.105	573.2284	0.1589	0.000159	0.2158	0.00022
		14.770		0.030		486.510		0.2434	0.000243		
		14.257		0.021		667.039		0.1645	0.000165		
19%		13.652	14.474	0.020	0.021	667.918	681.4756	0.1393	0.000139	0.1577	0.00016
		15.514		0.022		709.470		0.1693	0.000169		
		14.600		0.045		323.004		0.3814	0.000381		
20%		12.221	13.753	0.039	0.039	316.929	353.0019	0.2578	0.000258	0.2853	0.00029
		14.438		0.034		419.072		0.2169	0.000217		



Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur *Curing* 27°C (24 Jam) + *Post-Curing* 90°C (5 Jam).

Tabel 4.8 Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy-HGM Curing* Temperatur 90°C Selama 24 Jam.

Vol fraksi HGM	Temp. (°C)	σ UTS (MPa)	σ UTS rata-rata	ε	ε rata-rata	E (MPa)	E (MPa) rata-rata	Toughness (N.mm/mm ³)	Toughness (Joule/mm ³)	Toughness (N.mm/mm ³) rata-rata	Toughness (Joule/mm ³) rata-rata
15%	Temperatur 90°C 24 jam	15.490	15.255	0.031	0.030	0.4950	0.51557	0.2491	0.000249	0.2451	0.000245
		14.107		0.029		0.4903		0.2257	0.000226		
		16.170		0.029		0.5614		0.2605	0.000260		
16%		20.006	20.796	0.031	0.033	0.6399	0.627265	0.3000	0.000300	0.3228	0.000323
		20.699		0.035		0.5966		0.3266	0.000327		
		21.683		0.034		0.6453		0.3419	0.000342		
17%		18.502	17.887	0.031	0.029	0.6026	0.611868	0.2954	0.000295	0.2689	0.000269
		17.706		0.028		0.6217		0.2295	0.000229		
		17.452		0.029		0.6113		0.2818	0.000282		
18%		16.917	17.208	0.025	0.037	0.6745	0.506008	0.2911	0.000291	0.3173	0.000317
		16.026		0.034		0.4783		0.2256	0.000226		
		18.680		0.051		0.3652		0.4351	0.000435		
19%		16.874	17.101	0.038	0.036	0.4436	0.485323	0.2808	0.000281	0.2858	0.000286
		17.877		0.032		0.5641		0.3128	0.000313		
		16.552		0.037		0.4483		0.2639	0.000264		
20%		16.084	15.846	0.031	0.035	0.5173	0.469285	0.2760	0.000276	0.3079	0.000308
		15.945		0.029		0.5534		0.3104	0.000310		
		15.510		0.046		0.3372		0.3372	0.000337		

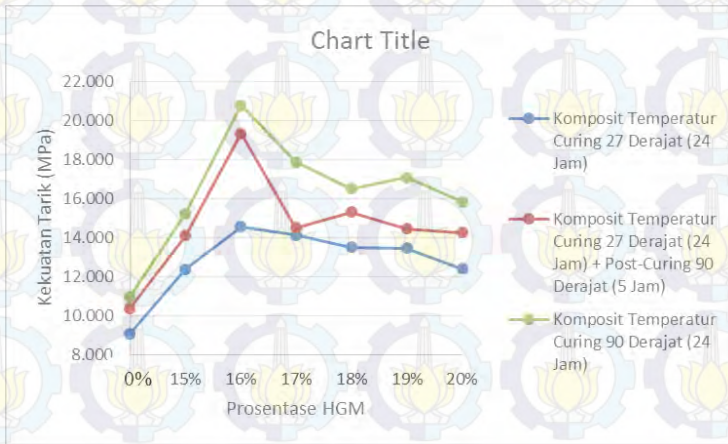
Dimana :

Kode A = Spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam.

Kode B = Spesimen *curing* temperatur 27°C selama 24 jam, lalu *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam.

Kode C = Spesimen *curing* temperatur 90°C selama 24 jam.

4.1.1 Pengaruh Penambahan Prosentase Volum *Hollow Glass Microspheres* Terhadap Tegangan Tarik Komposit.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Tegangan Tarik (Mpa) VS Prosentase HGM untuk Temperatur *Curing* 27°C Selama 24 jam, Temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam + Post *curing* 90°C Selama 5 jam dan Temperatur *Curing* 90°C Selama 24 jam

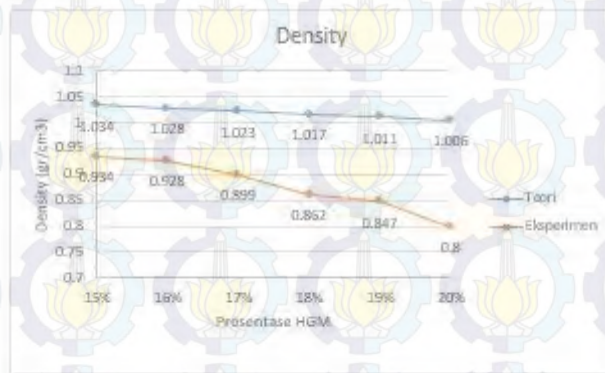
Dari hasil pengujian tarik pada gambar 4.4 dapat dilihat perbandingan tegangan tarik komposit *epoxy-Hollow Glass Microspheres* dengan perlakuan *curing* pada temperatur 27°C selama 24 jam, kemudian temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam dan temperatur 90°C selama 24 jam pada penambahan fraksi volume HGM 15% hingga 20%. Komposit dengan temperatur *curing* 90°C selama 24 jam memiliki kekuatan paling tinggi dibandingkan komposit dengan temperatur *curing* 27°C selama 24 jam + *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam dan dengan komposit temperatur *curing* 27°C.

Dari gambar 4.4 komposit dengan temperatur *curing* 27°C selama 24 jam mengalami kenaikan tegangan tarik pada penambahan fraksi volume HGM dari 15% ke 16%. Penambahan fraksi volume HGM 16% memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu 14,58 MPa. Kemudian penambahan fraksi volume HGM 17% mengalami penurunan kekuatan hingga penambahan fraksi volume 20% HGM.

Komposit dengan temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan dengan komposit dengan temperatur *curing* 27°C selama 24 jam. Komposit dengan temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam memiliki kekuatan tarik paling tinggi pada penambahan fraksi volume HGM 16% dengan kekuatan tarik sebesar 19.34 MPa. Komposit dengan temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam mengalami kenaikan kekuatan tarik dari 15% hingga 16% kemudian mengalami penurunan pada penambahan fraksi volume HGM 17%, namun pada penambahan fraksi volume HGM 18% terjadi kenaikan kekuatan komposit dibandingkan dengan penambahan fraksi volume HGM 17%. Kekuatan tarik komposit dengan penambahan fraksi volume 18% HGM yaitu sebesar 15.3 MPa kemudian mengalami penurunan hingga penambahan fraksi volume 20%.

Kekuatan tarik komposit yang paling tinggi yaitu komposit dengan temperatur *curing* 90°C Selama 24 jam. Dari gambar 4.1 dapat dibandingkan dengan komposit temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam dan temperatur *curing* 27°C Selama 24 jam komposit temperatur *curing* 90°C Selama 24 jam memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi. Dimana kekuatan tarik komposit yang tertinggi yaitu dengan penambahan fraksi volume 16% HGM yaitu 20.79 MPa.

4.1.2 Perbandingan Density Komposit Secara Teori Dan Secara Eksperimen.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan *Density* Komposit Dengan Penambahan Prosentase *Hollow Glass Microspheres* Secara Teori dan Eksperimen.

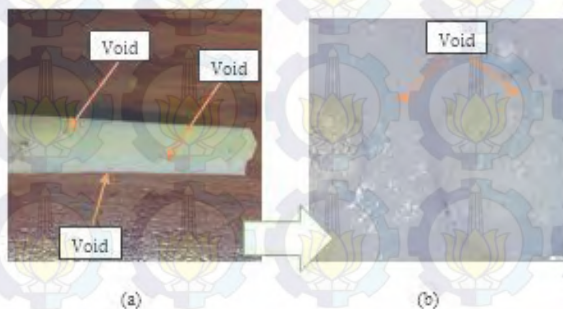
Gambar 4.5 menggambarkan *density* komposit dengan penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microsphere* (HGM) pada komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*. Pada gambar 4.5 dapat dilihat perbandingan *density* komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* secara perhitungan teoritis dan *density* komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* secara eksperimen.

Dari gambar 4.5 dapat dilihat dengan adanya penambahan prosentase *Hollow Glass Microsphere* (HGM) berdampak pada *density* komposit yang semakin ringan. Hal tersebut disebabkan karena dengan semakin banyaknya penambahan HGM maka berat komposit akan semakin ringan, dikarenakan *density* HGM yaitu 0.69 gr/cm³ lebih ringan dari pada *density* *Epoxy* dan *Hardener* masing-masing 1.127 gr/cm³ dan 0.917 gr/cm³.

Terdapat perbedaan antara *density* komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* secara teori dan secara eksperimen pada gambar 4.5. Hal ini disebabkan karena pada banyaknya faktor

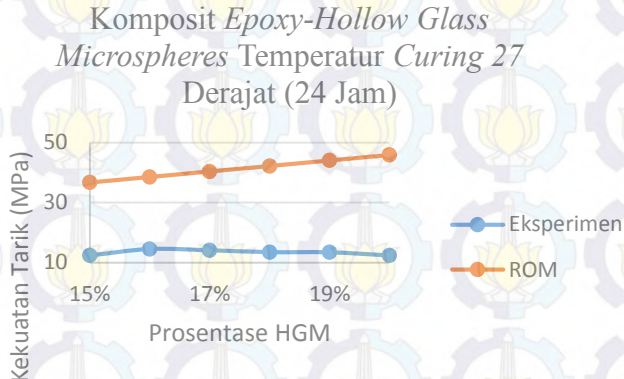
yang mempengaruhi pada proses eksperimen. Diantaranya pada saat proses pembuatan komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*, banyaknya campuran *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* yang tertinggal di gelas pada proses pencampuran *Epoxy*, *Hardener* dan *Hollow Glass Microspheres*. Hal tersebut berpengaruh pada volume komposit menjadi berbeda dengan pada saat perencanaan dibandingkan dengan teori.

Selain faktor masih banyaknya *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* yang tertinggal di gelas pencampur, ada faktor lain yang juga berpengaruh terhadap perbedaan antara *density* komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* secara teori *rules of mixtures* maupun secara eksperimen. Salah satunya void. *Void* adalah udara yang terjebak di dalam komposit *epoxy-hollow glass microspheres* pada saat penuangan campuran *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* ke dalam cetakan, void tersebut menyebabkan terbentuknya rongga-rongga berukuran kecil pada material komposit *Epoxy-Hollow Glass Microsphere*. Pada gambar 4.6 dapat dilihat munculnya banyak *void* pada material komposit.



Gambar 4.6 (a) Foto Void Pada Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 27°C Selama 24 jam. (b) Foto Makro Void Perbesaran 32x .

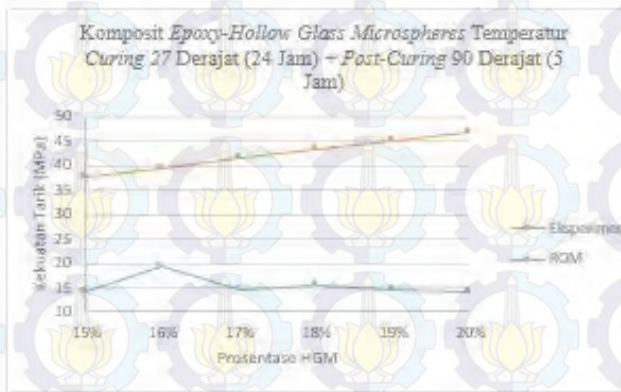
4.1.3 Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit Secara Teori Rules Of Mixture Dan Secara Eksperimen.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 27°C (24 Jam) Secara Teori Rules Of Mixture dan Eksperimen.

Gambar 4.7 merupakan grafik perbandingan kekuatan tarik komposit *Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 27°C Secara Teori Rules Of Mixture dan Eksperimen. Dari grafik tersebut dapat dilihat secara teori rule of mixture kekuatan komposit mengalami kenaikan pada setiap penambahan prosentase volume *Hollow Glass Microspheres*. Semakin banyak prosentase *hollow glass micropsheres* maka kekuatan tariknya semakin tinggi. Namun terdapat perbedaan antara kekuatan tarik secara perhitungan teori rules of mixtures dan secara eksperimen. Penambahan prosentase *Hollow Glass Microspheres* pada komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* eksperimen tidak berdampak pada kenaikan kekuatan tarik komposit. Pada penambahan prosentase fraksi volume HGM 15% temperature curing 27°C kekuatan komposit sebesar 12,4 MPa. Kemudian kekuatan komposit naik menjadi 14.58 MPa seiring dengan penambahan fraksi volume 16% namun setelah itu kekuatan

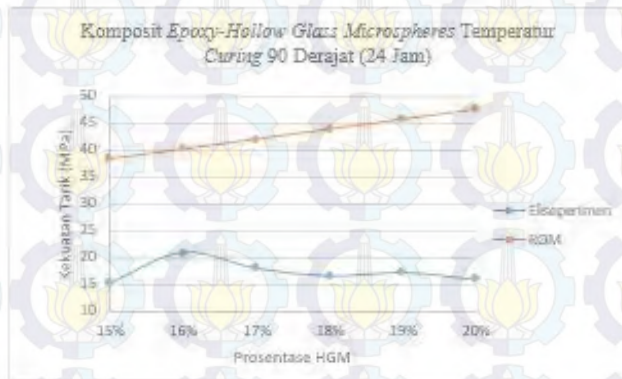
komposit mengalami penurunan kekuatan pada penambahan fraksi volume HGM 17% sampai dengan fraksi volume 20%. Berbeda dengan teori *Rules Of Mixture* yaitu dengan semakin bertambahnya fraksi volume HGM maka kekuatannya akan semakin meningkat. Perbedaan kekuatan komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* secara teori *rules of mixture* dan secara eksperimen disebabkan beberapa faktor pada saat proses pencampuran *epoxy*, *hardener* dan *hollow glass microspheres*.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 27°C (24 Jam) + Post-Curing Temperatur 90°C (5 Jam) Secara Teori *Rules Of Mixture* dan Eksperimen.

Pada gambar 4.8 dapat dilihat grafik perbandingan kekuatan tarik komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 27°C + Post-Curing Temperatur 90°C (5 Jam) Secara Teori *Rules Of Mixture* dan Eksperimen. Pada kekuatan komposit secara teori *rules of mixture* dapat dilihat dengan adanya penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* kekuatan komposit mengalami peningkatan. Namun berbeda dengan kekuatan komposit secara eksperimen. Kekuatan komposit secara

eksperimen mengalami peningkatan dari penambahan fraksi volume HGM dari 15% ke 16% dimana kekuatan komposit pada penambahan prosentase fraksi volum HGM 16% adalah kekuatan yang tertinggi yaitu 19.34 MPa. Kemudian pada penambahan fraksi volume HGM 17% hingga 20% kekuatan komposit mengalami penurunan. Tidak seperti kekuatan komposit secara teori *rules of mixture* yang dengan semakin bertambahnya fraksi volume *hollow glass microspheres* kekuatan akan semakin meningkat.

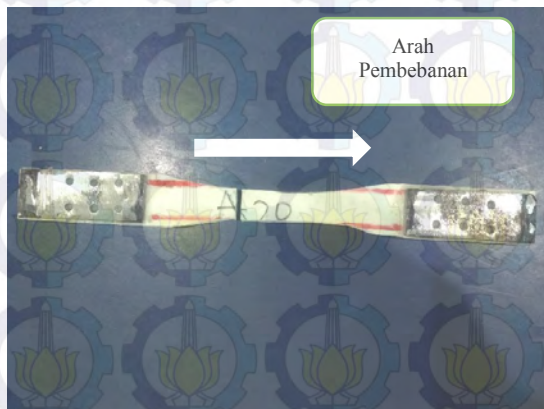


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 90°C (24 Jam) Secara Teori *Rules Of Mixture* dan Eksperimen.

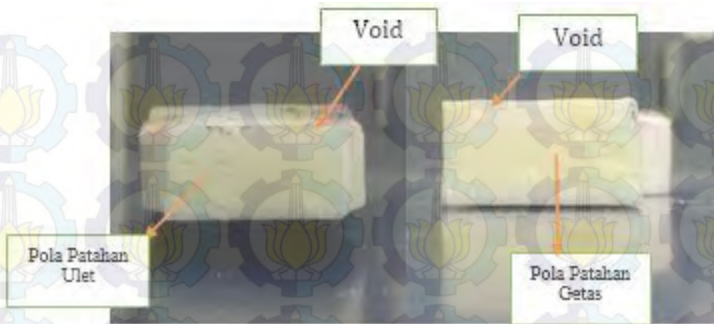
Dari gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 90°C secara teori *rules of mixture* dan eksperimen. Kekuatan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dengan temperature curing 90°C selama 24 jam baik secara eksperimen dan secara teori *rules of mixture* merupakan kekuatan komposit yang paling tinggi diantara komposit dengan temperatur curing 27°C selama 24 jam,

temperatur *curing* 27°C selama 24 jam + *post-curing* temperatur 90°C selama 5 jam. Secara teori *rules of mixtures* kekuatan komposit mengalami kenaikan seiring dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres*. Namun berbeda dengan kekuatan komposit secara eksperimen, kekuatan komposit secara eksperimen mengalami kenaikan kekuatannya dari penambahan fraksi volume HGM 15% ke 16% kemudian mengalami penurunan pada penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 17% hingga 20%.

4.3 Pengamatan Pola Patahan Hasil Pengujian Tarik Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*.



Gambar 4.10 Foto Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*. Temperatur *curing* 27°C (24 Jam) Hasil Uji Tarik Dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro.



Gambar 4.11 Foto Permukaan Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 27°C (24 Jam).

Gambar 4.10 merupakan foto patahan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* temperatur curing 27°C (24 Jam) hasil uji tarik. Pola patahan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dapat dilihat pada gambar 4.11. Salah satu penyebab rendahnya kekuatan tarik komposit *epoxy-hollow glass microspheres* secara eksperimen dibandingkan dengan secara teori *rules of mixtures* adalah adanya *void*. *Void* adalah udara yang terjebak di dalam komposit yang terjadi pada saat proses penuangan material komposit ke dalam cetakan. Pada saat komposit menerima beban, daerah yang terdapat *void* terjadi konsentrasi tegangan. *Void* memicu terjadinya *crack initiation*. Karena pada daerah yang terdapat *void* kekuatannya cenderung lebih rendah, dapat dilihat dari pola patahannya yang cenderung lebih getas. Pada gambar 4.11 dapat dilihat permukaan pola patahan yang getas memiliki kontur yang lebih halus dibandingkan dengan yang lainnya.



Gambar 4.12 Foto Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur curing 27°C (24 Jam) + *Post-Curing* 90°C (5 Jam) Hasil Uji Tarik Dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro.



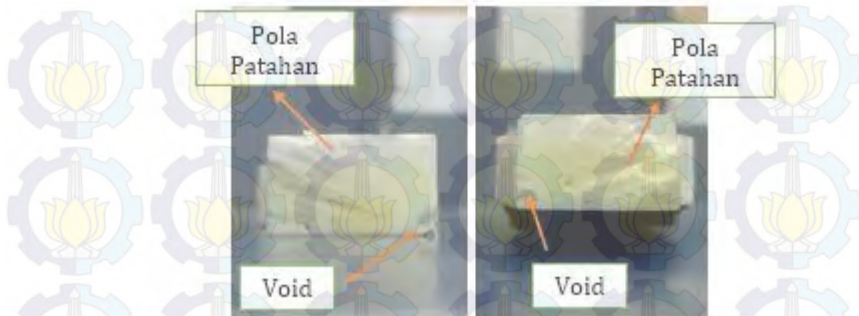
Gambar 4.13 Foto Permukaan Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur curing 27°C (24 Jam) + *Post-Curing* 90°C (5 Jam).

Gambar 4.12 merupakan foto patahan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* temperatur curing 27°C (24 Jam) + *post-curing* 90°C hasil uji tarik. Gambar 4.13 menunjukkan permukaan patahan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dimana

terdapat beberapa void pada bagian dalam material komposit. *Void* merupakan penyebab rendahnya kekuatan komposit secara eksperimen dibandingkan dengan teori *rules of mixture*. *Void* memicu timbulnya *crack initiation*, pada saat material komposit menerima beban tarik daerah tersebut terdapat konsentrasi tegangan. Dari gambar 4.13 dapat dilihat awal retak pada daerah yang terdapat *void* kemudian menjalar ke sekitarnya hingga akhirnya material komposit *epoxy-hollow glass microspheres* patah. Namun pada komposit dengan temperature ini daerah yang terdapat void memiliki pola patahan yang cenderung lebih ulet dibanding dengan *void* pada pola patahan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dengan temperature *curing* 27°C selama 24 jam. Hal tersebut disebabkan karena komposit dengan temperature *curing* 27°C selama 24 jam + *post-curing* 90°C selama 5 jam memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dengan temperature *curing* 27°C baik secara teori *rules of mixtures* maupun secara eksperimen.



Gambar 4.14 Foto Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur *Curing* 90°C (24 Jam) Hasil Uji Tarik. Dengan Arah Pembebanan dan Arah Pengambilan Foto Makro.



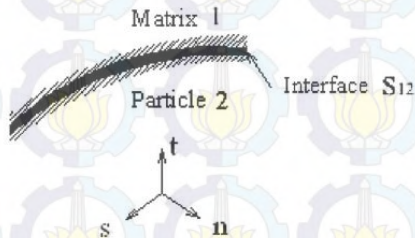
Gambar 4.15 Foto Permukaan Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres* Temperatur Curing 90°C (24 Jam).

Gambar 4.14 merupakan foto patahan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* temperatur curing 90°C (24 Jam) hasil uji tarik. Dari gambar 4.15 dapat dilihat permukaan patah komposit *epoxy-hollow glass microspheres*. Banyak ditemukan *void* di dalam komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dimana menjadi salah satu penyebab rendahnya kekuatan komposit secara eksperimen dibandingkan dengan teori *rules of mixture*. *Void* menjadi *crack initiation* dimana pada daerah tersebut terjadi konsentrasi tegangan. Pada saat pengujian tarik. Daerah yang terdapat *void* menerima tegangan lebih besar dibanding daerah sekitar yang tidak terdapat *void*. Dapat dilihat permukaan disekitar daerah *void* pola patahannya cenderung lebih getas dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Dari gambar 4.15 dapat dilihat permukaannya yang lebih halus disekitar *void*. Pola patahan ulet pada komposit ini cenderung lebih terlihat dibandingkan dengan komposit *epoxy-hollow glass microspheres*. Pola terlihat lebih jelas dibandingkan dengan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* temperatur curing 27°C selama 24 jam dan temperatur curing 27°C + *post-curing* 90°C karena komposit *epoxy-hollow glass microspheres*

dengan temperatur *curing* 90°C memiliki kekuatan yang paling tinggi baik secara teori *rules of mixture* maupun eksperimen.

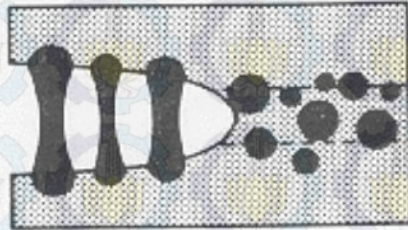
4.4 Pengamatan Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Pada Patahan Komposit *Epoxy-Hollow Glass Microspheres*.

Ikatan pada *matrix* dan *reinforcement* merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat mekanik pada komposit. Jika antara *matrix* dan *reinforcement* memiliki ikatan yang kuat maka sifat pada *reinforcement* mampu digunakan secara maksimal dalam meningkatkan kekuatan dari *matrix* tersebut.



Gambar 4.16 Interface Epoxy-HGM[10]

Pada gambar 4.16 menggambarkan mengenai komposit partikel dan ketebalan interface antara partikel 2 dan *matrix* 1. Dari gambar diatas dapat dilihat faktor yang mempengaruhi kekuatan dan pola patahan pada sebuah *komposit*, jika *matrix* mampu mengikat seluruh luasan pada partikel penguat maka sifat mekanik pada *komposit* akan menjadi lebih baik.



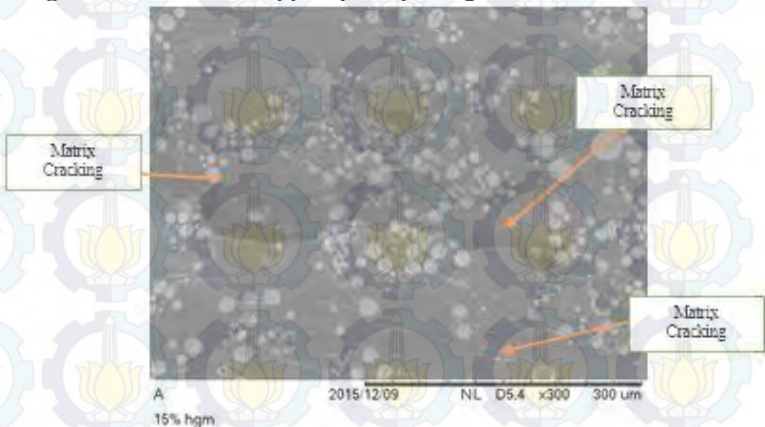
Gambar 4.17 Mekanisme *Hollow Glass Microsphere* Pada Komposit Menahan Retakan ^[11]

Dari gambar 4.17 dapat dilihat kekuatan yang dibutuhkan pada saat terjadi crack lebih tinggi karena *hollow glass microsphere* yang ada pada komposit berperan dengan baik sebagai *reinforcement*, dengan cara menahan retakan hingga dinding *hollow glass microsphere* rusak. Bentuk *hollow glass microsphere* yang bulat menghalangi retakan karena tidak adanya konsentrasi tegangan.

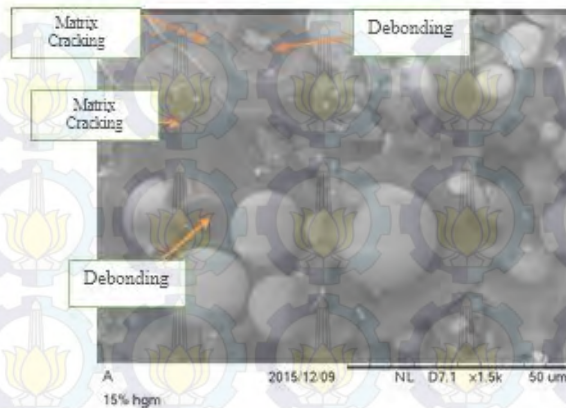
Ikatan yang terjadi antara *matrix* dengan *hollow glass microsphere* terjadi secara natural. Jika semakin banyak luasan dari *hollow glass micropsheres* berikatan dengan *matrix* maka hal tersebut akan meningkatkan shear modulus, interface antara *epoxy-HGM* akan menjadi meningkat. Jika HGM bisa berikatan kuat dengan *epoxy* sebagai *matrixs* nya maka sifat mekanik pada HGM akan bisa lebih berpengaruh untuk meningkatkan kekuatan pada matriks komposit.

Pada pengamatan pola patahan komposit pengujian tarik, didapatkan mekanisme kerusakan komposit pada tiap spesimen, yaitu adanya *debonding*, dimana *debonding* adalah lepasnya ikatan antara *hollow glass microspheres* sebagai *reinforcement* dengan *epoxy* sebagai *matrix*. Hal tersebut terjadi akibat ikatan *interface* antara *hollow glass micropsheres* sebagai *reinforcement* dan

matrix epoxy yang tidak mampu menahan beban yang diberikan. sehingga menyebabkan partikel *hollow glass microspheres* terlepas dari *matrix*. Selain itu terdapat *matrix cracking*. *Matrix cracking* terjadi akibat *matrix* tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga timbul retakan. *Matrix cracking* banyak di jumpai di komposit dengan penambahan prosentase fraksi volume *hollow glass microspheres* 15% karena pada penambahan prosentase tersebut volume *matrix* lebih dominan. Hal tersebut dapat dilihat dari kekuatannya yang lebih rendah dibandingkan dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 16% hingga 20%. *Matrix cracking* dapat dilihat melalui pegamatan *scanning electron microscopy* seperti pada gambar 4.18.

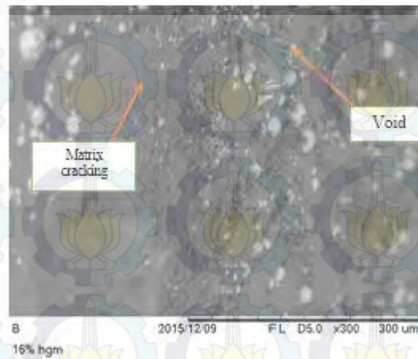


Gambar 4.18 Foto SEM Komposit *Epoxy* dengan penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* 15% Temperatur Curing 27°C (24 Jam) (Perbesaran 300x).



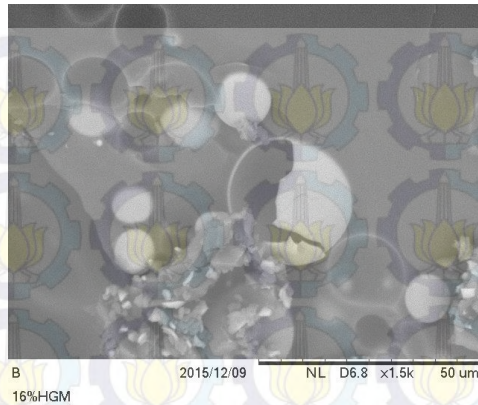
Gambar 4.19 Foto SEM Komposit *Epoxy* Dengan Penambahan Fraksi Volume *Hollow Glass Microspheres* 15% Temperatur *Curing* 27°C (24 Jam) (Perbesaran 1000x).

Pada gambar 4.18 merupakan foto SEM komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 15% temperatur *curing* 27°C (24 Jam) dengan perbesaran 1000x. Dari gambar 4.20 dapat dilihat *matrix cracking* yang terjadi. Selain itu terdapat *debonding* pada beberapa bagian komposit *epoxy-hollow glass microspheres*. *debonding* disebabkan oleh beban yang diterima oleh komposit tidak sepenuhnya disalurkan dari *matrix* ke *hollow glass microspheres*. Pada komposit ini tidak ditemukan adanya *hollow glass microspheres* yang rusak.



Gambar 4.20 Foto SEM Komposit *Epoxy* Dengan Penambahan Fraksi Volume *Hollow Glass Microspheres* 16% Temperatur *Curing* 27°C (24 Jam) + *Post-Curing* 90°C + (Perbesaran 300x).

Pada gambar 4.20 merupakan foto SEM komposit *epoxy* dengan penambahan fraksi volume *hollow glass microspheres* 16% temperatur *curing* 27°C (24 Jam) + *post-curing* 90°C dengan perbesaran 300x. Pada Gambar 4.20 *Matrix cracking* banyak di jumpai di komposit dengan penambahan prosentase fraksi volume *hollow glass microspheres* 16% karena pada penambahan prosentase tersebut volume *matrix* masih dominan. Selain itu banyak terdapat *void* yang juga berpengaruh terhadap kekuatan komposit.



Gambar 4.21 Foto SEM Komposit *Epoxy-hollow glass microspheres* dengan penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* 16% Temperatur Curing 27°C + Post-Curing 90°C (24 Jam) (Perbesaran 1500x).

Gambar 4.21 merupakan foto SEM komposit *epoxy-hollow glass microspheres* dengan penambahan fraksi volume *Hollow Glass Microspheres* 16% Temperatur Curing 27°C + Post-Curing 90°C (24 Jam) (Perbesaran 1500x). Dapat dilihat *matrix cracking* yang terjadi. Selain itu terdapat *debonding* pada beberapa bagian komposit *epoxy-hollow glass microspheres*. *debonding* disebabkan oleh beban yang diterima oleh komposit tidak sepenuhnya disalurkan dari *matrix* ke *hollow glass microspheres*. Namun pada komposit ini ditemukan adanya *hollow glass microspheres* yang rusak.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada *komposit epoxy-hollow glass microspheres*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

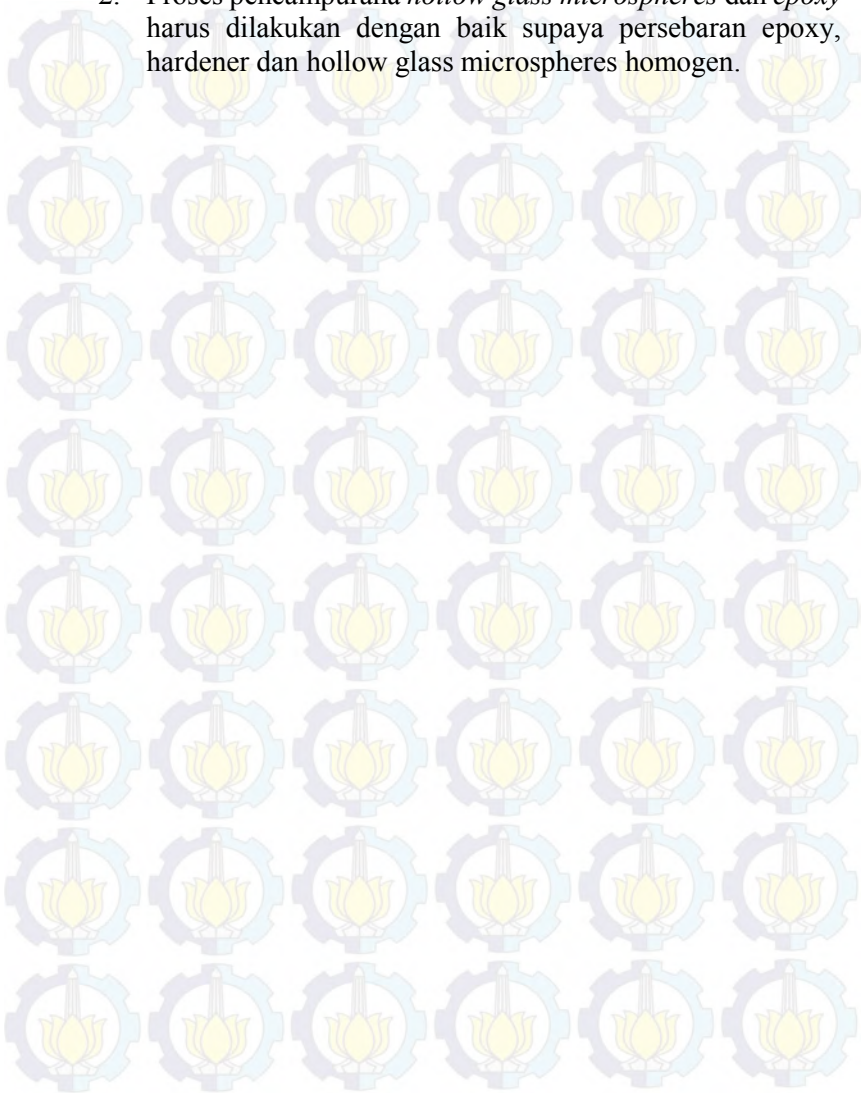
1. Penambahan fraksi volume HGM sebesar 15% hingga 16% pada *epoxy* dapat meningkatkan tegangan tarik komposit. Tegangan tarik maksimum sebesar 20.79MPa didapatkan pada penambahan fraksi volume HGM sebesar 16%.
2. Terdapat perbedaan kekuatan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* secara eksperimen dan secara teori *rules of mixture*. Salah satu penyebabnya adalah banyak terdapat void.
3. Proses *curing* pada temperature 90 derajat dapat meningkatkan kekuatan tarik komposit karena hal tersebut dapat meningkatkan jumlah ikatan *crosslink* pada matriks *epoxy*. Selain itu juga berpengaruh pada semakin meningkatnya kekuatan ikatan interface antara *hollow glass microspheres* dengan *epoxy*

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Proses pembuatan komposit *epoxy-hollow glass microspheres* menggunakan alat vakum untuk menghindari adanya udara terjebak dalam komposit atau void.

2. Proses pencampurana *hollow glass microspheres* dan *epoxy* harus dilakukan dengan baik supaya persebaran epoxy, hardener dan *hollow glass microspheres* homogen.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Made Rasindradita G. 2013. *“Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Microspheres Komposit Hibrida Lamina Dengan Penguat Serat Anyaman Terhadap Karakteristik Tarik dan Bending”*. Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [2] Irwan Nugraha Saputra. 2013. *“Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur dan Waktu Terhadap Karakteristik Tarik Komposit Polyester Partikel Hollow Glass Microspheres”*. Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [3] Widyansyah Ritonga. 2014. *“Pengaruh Variasi Fraksi Volume, Temperatur Curing dan Post-curing Terhadap Karakteristik Tekan Komposit Epoxy-Hollowglass Microspheres IM30k”*. Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS. Indonesia.
- [4] http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/composites/comp_intro.cfm
- [5] <http://www.ecvv.com/product/3822975.html>
- [6] Alexander Trofimov, Dr. Lev. Pleshkov, Haslen Back., *Hollow Glass Microsphere for High Strength Composite Cores*, Alchemie Technology 50 (2007) 44-46,48-50.
- [7] SP System.Composite Engineering Material
- [8] Nie Shihua, 2004, *“A Micromechanical Model for Effective Elastic Properties of Particulate Composite with Imperfect Interfacial Bond”*. University at Buffalo, USA
- [9] The Advantages of Epoxy Resin versus Polyester in Marine Composite Structure, SP-systems, undated.
- [10] www.princhenton.com
- [11] A. Brent Strong, *“Controlling Polyester Curing – A Simplified View”*, Brigham Young University, undated.

- [12] Jones, Robert M., *“Mechanics Of Composite Materials (Materials Science & Engineering Series)”*, Scripta Book Co., Washington, 1975
- [13] Annual Book of ASTM Standards, ASTM D3039, *“Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”*, American Society for Testing and Materials, 1984
- [14] Daniel Jung, *“Performance and Properties of Embedded Microspheres for Self-Repairing Applications”*, B.S. Cornell University, 1995.

BIODATA PENULIS



Bustan Zhafry Hazmi lahir pada 21 juni 1989 di Madiun, Jawa Timur. Merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Lulus pendidikan formal di SD Tanggul Kulon VI, Tanggul, Jember pada tahun 2002. Selanjutnya meneruskan sekolah di SMP 1 Madiun, lulus tahun 2005, dan melanjutkan pendidikan ke SMA 1 Surabaya dan lulus pada tahun 2008. Kemudian penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Mesin ITS.

Selama masa studi di Jurusan Teknik Mesin ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan yang dinamis. Diluar itu penulis juga bekerja diluar kampus sebagai fotografer, memiliki usaha di bidang jasa fotografi dan memiliki usaha di bidang jual beli smartphone. Cita-cita terbesar penulis adalah memiliki usaha sendiri entah itu di bidang pengadaan barang dan jasa. Hal tersebut yang diidam-idamkan orang tua penulis dan mampu membantu memperbaiki perekonomian Indonesia dengan cara menggerakkan bisnis lokal yang kreatif.

Penulis dapat dihubungi melalui ponsel: +62 856 3043525.
Alamat *e-mail*: bustanzh@gmail.com